UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCURESTI
Facultatea de Inginerie Electrica

Nr. Decizie Senat ..... din .....

REZUMAT TEZÁ DE DOCTORAT

CONCEPTIA SI REALIZAREA UNUI SISTEM INTEGRAT DE MÁSURÁ, CONTROL SI DISTRIBUTIE A PRODUSELOR FARMACEUTICE ÎNTR-O UNITATE CENTRALA

CONCEPTION AND REALIZATION OF AN INTEGRATED SYSTEM OF MEASUREMENT, CONTROL AND DISTRIBUTION OF PHARMACEUTICAL DRUGS FROM A CENTRAL WAREHOUSE

Cuprins

Cuvinte cheie: sistem integrat, depozit farmaceutic, inginerie electrica, sistem de masura si control bazat pe retele de senzori, senzori magnetici, materiale magnetice in strat subtire, retele wireless iWSN, sistem autoevolutiv, retea neurala adanca, sistem inovativ 2
OBIECTIVUL TEZEI 2
CONTINUTUL TEZEI 4
METODOLOGIA DE LUCRU 5
SISTEMUL INTEGRAT DE DISTRIBUTIE FARMACEUTICA 7
PROCESUL INDUSTRIAL. ARHITECTURA FUNCTIONALA A SISTEMULUI 9
OPTIMIZAREA CONTROLULUI SISTEMULUI PRIN MODELARE 10
INFRASTRUCTURA FIZICA A MEDIULUI EXPERIMENTAL 12
MODERNIZAREA SISTEMULUI DE DISTRIBUTIE FARMACEUTICA 13
Selectia senzorilor pentru cerintele depozitului farmaceutic 13
Descrierea arhitecturii 14
Parametri si caracteristici fizice ale retelei iWSN 16
Descrierea tehnica a retelei de senzori 16
ARHITECTURA RETELEI DE SENZORI MAGNETO-OPTICI 18
Senzori magnetici de proximitate 18
Senzori magnetici de proximitate cu releu Reed 19
ELEMENTE DE INFRASTRUCTURA PENTRU MODERNIZARE 19
SISTEMUL DE AUTOREGLARE 20
ALGORITMI DE CONTROL. MODELAREA RETELEI NEURALE 21
CONTRIBUTII SI REZULTATE ORIGINALE 22
IMPACT PROGNOZAT 26
EXPERIMENTE EFECTUATE 27
Concluzii referitoare la scalabilitatea sistemului propus 33
PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARA 35
Bibliografie 37

Cuvinte cheie: sistem integrat, depozit farmaceutic, inginerie electrica, sistem de masura si control bazat pe retele de senzori, senzori magnetici, materiale magnetice in strat subtire, retele wireless iWSN, sistem autoevolutiv, retea neurala adanca, sistem inovativ.

OBIECTIVUL TEZEI

Obiectivul tezei a fost de a analiza, optimiza si integra printr-o viziune holistica inovativa atat partea de infrastructura fizica ce contine numerosi senzori electromagnetici, partea de infrastructura informatica precum si implementarea ultimelor cercetari in materie de inteligenta artificiala (machine learning), aferente unui depozit automatizat.

Procesul industrial care a fost utilizat ca studiu de caz este managementul unui depozit farmaceutic complex, cu un grad ridicat de automatizare, practic un sistem robotizat.
Vanzatorii engros de medicamente se confrunta cu provocari pe care doar sistemele optimizate automate ii pot ajuta sa le indeplineasca. Clientii tind sa comande mult mai frecvent, in cantitati mici si au nevoie de servicii personalizate. Pe de alta parte, companiile tind sa accepte comenzi venite tarziu, in timp ce trebuie sa asigure o livrare rapida si la timp, in perioade foarte scurte de timp. Intotdeauna timpii de asteptare sunt sub presiune. Acest lucru este in mod special adevarat pentru centrele de distributie farmaceutica. Selectarea comenzilor consta in regasirea unui numar de produse din locatiile de depozitare, care sa satisfaca o serie de comenzi independente ale mai multor clienti. Este o activitate importanta in lantul de aprovizionare-desfacere, constituind 65% din costurile totale de functionare pentru un depozit

Capabilitatile sistemului pentru depozitele de „clasa superioara", ar trebui sa fie: stocarea si preluarea automata a cutiilor de transport, fara utilizarea stivuitoarelor si a operatorilor; aducerea in mod automat a produselor catre operatori; transportul automat al produselor dintr-o zona de preluare intr-alta; rutarea automata a produselor catre statia de expediere corecta; permite personalului sa opereze intr-un mediu hands-free; cantarirea automata a pachetelor si aplicarea etichetelor de expediere; existenta unui singur punct de vizibilitate si control asupra intregii automatizari a depozitului. **Contributiile aduse de aceasta teza permit evolutia spre acest standard superior.**

Constructia sistemului integrat de distributie farmaceutica este descrisa atat din punct de vedere economic cat si tehnologic, evidentiindu-se cerintele practice si imbunatatirile vizate prin aceasta teza. **Studiul a urmarit cele patru sisteme in care intervin elemente de Inginerie Electrica:**

1. **Un sistem de distributie** care are drept procese de lucru: comanda client si procesarea acesteia pe o linie de culegere (de picking) a produselor in ambalaje comune (tote), descrisa in amanunt atat prin elemente componente (cu poze), cat si prin prezentarea fluxului de lucru.

2. **Un sistem de masura si analiza a informatiilor din teren, asupra caruia propunem o modificarea majora, prin implementarea unei retele duale de senzori (magneto-optici).** Aceasta preia datele masurate in linia de culegere, referitoare la tota (pozitie in linia transportoare si identificarea totei), operatorul care efectueaza operatia de culegere a medicamentelor, verificarea si validarea acuratetii operatiei de culegere si viteza benzii transportoare. Aici, fata de senzorii optici din dotarea initiala, au fost adaugati senzori magnetici care sa permita identificarea totei si a produselor, prin inserarea unor etichete magnetice care vor utiliza materiale magnetice moi in strat subtire si structura nanocristalina; teza prezinta caracteristicile acestor materiale in configuratie speciala.

   Una dintre problemele majore ale sistemului initial era faptul ca totele erau dotate doar cu o eticheta cu cod de bare optic care se deteriora foarte repede, fapt care ducea la 20-25% erori generate in procesul de verificare a activitatilor pe banda transportoare.

3. **Un sistem de reglare si control inovativ**, care are componentele majore determinate ca rezultat al simularii si analizarii proceselor din depozitul farmaceutic, intr-un model informatic care utilizeaza obiecte programabile [17].

   a. **Un sistem ERP** care integreaza activitatile companiei deservita de acest depozit farmaceutic
   b. **Sistemul de predictie**, bazat pe reteaua neurala de baza, avand drept scop optimizarea

functionarii proceselor desfasurate in depozit - reducerea semnificativa a erorilor de sistem si de culegere a medicamentelor, asigurand in plus vizibilitate asupra potentialului de servire a clientilor si anticiparea timpilor de executie si livrare catre clienti.

Rezultatele obtinute au fost semnificativ imbunatatite ca urmare a implementarii retelei duale de senzori.

Prin utilizarea la capacitate maxima a facilitatilor productive corobarate cu cererea din piata (comenzi clienti) se obtine cresterea directa a productivitatii la nivelul benzii transportoare.

c. **Algoritmul de volumetrie** (ERP, modulul Warehouse Management System), care optimizeaza dispunerea totelor in banda transportoare si selectia tipului de tota mare/mica, precum si traseul totei catre statiile de incarcare (culegere) in functie de volumul de medicamente aferent comenzii de livrare care urmeaza sa fie procesata. Algoritmul asigura fluidizarea miscarii totelor pe banda transportoare si in dreptul statiilor de incarcare, astfel ca sa nu apara blocaje.

Sistemul propus a fost conceput astfel incat sa permita existenta si colaborarea mai multor nivele de control: (1) dispozitive hardware de masura si control; (2) computere de proces; (3) unitatea centrala de calcul si sistemul de control al depozitului interfatate cu sistemul de management al depozitului; (4) sistemul de management al depozitului.

4. **Sistemul de actionare**, compus din automate programabile PLC de tip Schafer si actuatori care actioneaza motoarele benzii transportoare.

Modul in care sistemul integrat functioneaza a fost analizat prin masuratori repetate care au reliefat ca beneficiile obtinute sunt in accord cu cele asteptate si expuse de-a lungul prezentei teze.

CONTINUTUL TEZEI

Lucrarea este organizata in cinci capitole, dintre care ultimul este dedicat concluziilor, urmarind succesiunea logica a prezentarii, analizei si dezvoltarii unui subiect multidisciplinar, asa cum este cel al optimizarii unui sistem de distributie farmaceutica. Teza este insotita de doua anexe si o lista bibliografica.

Primul capitol este dedicat prezentarii generale a unui sistem integrat de distributie farmaceutica. Se detaliaza principiile de organizare a unui depozit farmaceutic, insistandu-se asupra caracteristicilor senzorilor si traductoarelor folosite in mod uzual in acest mediu industrial. In afara sistemului de monitorizare, sunt prezentate si celelalte sisteme componente – sistemul de distributie a medicamentelor si sistemul transportor. O atentie deosebita este acordata elementelor de control si reglare automata a sistemului integrat, fiind expuse notiuni de inteligenta artificiala, sisteme expert si transmisia semnalelor. Elementele de Inginerie Electrica – senzori, traductoare, actuatori, actionari electrice, informatica aplicata – sunt identificate in vederea analizei lor detaliate pentru optimizarea functionarii sistemului integrat.

In **capitolul 2** se studiaza un sistem particular de distributie farmaceutica, aferent unui depozit centralizat al unuia dintre cei mai mari distribuitori de medicamente din Romania. Este prezentata arhitectura functionala a sistemului din punct de vedere al unui proces industrial si sunt identificate elementele de infrastructura ce ar putea fi modernizate in vederea cresterii eficientei sistemului integrat. Se propune introducerea unor senzori magnetici de proximitate si reevaluarea senzorilor de greutate, a divertoarelor, motoarelor si intinzatoarelor aferente benzii transportoare din depozit. Studiul s-a desfasurat conform unei metodologii detaliate la sfarsitul capitolului, ce cuprinde analize specifice fiecarui domeniu, analiza modelelor arhitecturale a sistemului integrat si activitatile de dezvoltare experimentala.

Capitolul 3 prezinta elementele de modelare a sistemului complex de distributie farmaceutica, fara de care nu ar fi posibila analiza si optimizarea acestuia. Modelarea vizeaza atat linia de culegere (picking) a medicamentelor in cadrul depozitului, cat si aplicatia informatica de management a sistemului integrat. Studiul aprofundat al acestor modele utilizate in gestiunea depozitului permite identificarea proceselor ce pot fi optimizate.

Capitolul 4 prezinta si subliniaza contributiile originale ale tezei. Abordarea primara de tip holistic permite identificarea elementelor de Inginerie Electrica in cadrul acestui sistem fizico-informatic deosebit de complex, multidisciplinar si specificarea corecta a dependentelor cu celelalte sub-sisteme. Sunt propuse imbunatatiri si completari precum: utilizarea retelelor de senzori de tip „fog computing", folosirea senzorilor magnetici de proximitate, introducerea identificatorilor din materiale magnetice in straturi subtiri [14-16] si utilizarea unui program bazat pe retele neurale pentru reglarea automata a functionarii benzii transportoare. Testarea solutiilor propuse se face in cadrul experimental detaliat in ultimul subcapitol. Rezultatele obtinute pentru experimente in conditii normale de lucru, respectiv in cazul aparitiei unei erori (absenta identificatorului pe tota) demonstreaza robustetea algoritmilor de inteligenta artificiala si imbunatatirea culegerii de informatii cu ajutorul senzorilor magnetici nou introdusi.

Capitolul 5 si ultimul capitol, prezinta concluziile generale si directiile de dezvoltare a cercetarilor. Este subliniat impactul deosebit (stiintific si tehnico-economic) al acestei teze asupra functionarii unui sistem real de distributie farmaceutica ce apartine unei firme solide de pe piata internationala de profil.

Teza se incheie cu o anexa continand vocabularul specific domeniului farmaceutic si cu o alta anexa ce prezinta codul-sursa al motorului de inteligenta artificiala dezvoltat de autor pentru eficientizarea sistemului integrat de distributie farmaceutica.

In conformitate cu un studiu publicat in iulie 2013 [20], se estimeaza ca piata globala de distributie farmaceutica va fi martora unui cresteri a ratei compozite anuale (CAGR) de 8% (2012-2018) si in urmatorii ani va atinge o valoare de 85 miliarde dolari, pana in 2018. Se asteapta ca piata sa fie alimentata cu medicamente fara brevete si sa asistam la extinderea pietei medicamentelor generice. Industria farmaceutica globala este in prezent in curs de expansiune rapida datorita unei multimi de inovatii tehnologice si a progreselor rapide in procesele de fabricatie si de integrare a acestor noi tehnologii. Acesti factori creeaza conditiile pentru cresterea industriei de distributie farmaceutica la nivel global.

In acest context global, prezenta teza are un rol major in deschiderea unor noi cercetari integrative, multidisciplinare.

METODOLOGIA DE LUCRU

PRIMUL PAS in conceperea si proiectarea integrata a sistemelor si proceselor de automatizare consta in dezvoltarea unui model teoretic, bazat pe cele mai recente cercetari stiintifice. Au fost analizate cele mai recente cercetari si dezvoltari ale conceptelor de autoevolutie bazate pe algoritmi evolutivi si retele neurale adanci pentru a gasi cea mai potrivita solutie de aplicat in activitatea depozitelor automatizate.

A fost efectuata o analiza a mai multor modele de senzori care ar putea fi utilizati pentru echiparea liniilor de culegere din cadrul unui depozit de produse farmaceutice, cu scopul de a gasi solutia cea mai eficienta. Linia transportoare din depozitul de culegere marfa (picking) va fi echipata cu un sistem dual de senzori magnetici si optici, pentru determinarea pozitiei in fiecare moment al laditelor in care se culege marfa (tote). Statia de verificare a corectitudinii culegerii produselor din fiecare tota este echipata cu un senzor de greutate. Fotodiodele optice au rolul de a valida datele obtinute prin intermediul senzorilor magnetici. Cititorul de coduri de bare are si functia de identificare a cutiilor de medicamente in scopul utilizarii datelor asociate fiecarei cutii (continut si destinatie).

Chiar daca sunt prezenti senzori de diferite tipuri, **senzorul magnetic este utilizat in mod prioritar in cadrul acestui sistem automat**, in scopul detectarii pozitiei cutiei cu medicamente. Luand in considerare conditiile de functionare dintr-un depozit de produse farmaceutice, senzorii magnetici sunt preferati datorita fiabilitatii acestora, rezultatelor corecte oferite in cadrul proceselor in timp real dar si lipsei erorilor cauzate de factorii de mediu existenti. Dintre cele doua tipuri de senzori magnetici analizati, Reed si Hall, sunt utilizati de preferinta senzorii Reed pentru determinarea pozitiei, deoarece ofera avantaje semnificative [2].

In urma analizei, pentru depozitul de produse farmaceutice a fost ales un senzor magnetic de proximitate cu releu Reed SME-8. Pentru dubla validare de-a lungul sistemului de transportoare din cadrul depozitului de produse farmaceutice a fost ales un senzor fotoelectric de proximitate EK75. Pentru portile de acces se va folosi un senzor Hall de tip LOHET 1. Pentru toate cutiile (tote) existente in sistemul de transport din cadrul unui depozit de produse farmaceutice, cel mai bun senzor de greutate este ICS-469-40.

Concluziile studiului au fost deja implementate in cadrul unui depozit de produse farmaceutice din Romania (Mediplus Exim). Aceasta analiza a fost esentiala pentru gestionarea intregului proces al studiului de automatizare, de la proiectare si implementare pana la utilizarea pe toata durata ciclului de viata.

AL DOILEA PAS in conceperea si proiectarea integrata a sistemelor si proceselor de automatizare a fost crearea unui model pilot pentru sistemul expert necesar procesului de culegere, utilizand de asemenea si un exemplu de simulare pentru a demonstra functionalitatea modelului. Criteriul de succes este reprezentat prin faptul ca rezultatul simularii arata ca modelul sistemului expert satisface, in principiu, obiectivele si permite realizarea si optimizarea proceselor din depozit.

Sistemul de control va fi compus dintr-un sistem central de colectare, prelucrare si predictie a informatiilor masurate in depozit, **sistem care va genera comenzi de actionare catre automatele programabile PLC de tip Schafer si catre actuatori, care la randul lor vor actiona motoarele benzii transportoare**.
La nivelul sistemului central de analiza si control, procesul de livrare si actionarea benzilor transportoare se face dupa procesarea informatiilor printr-o **retea neurala care actioneaza prin intermediul unor algoritmi auto- evolutivi**. Algoritmii evolutivi optimizati descrisi in lucrare sunt rezultatul direct al cercetarii realizate prin acest studiu si reprezinta cea mai noua tendinta tehnologica in managementul depozitelor farmaceutice. Rezultatele obtinute sunt utile pentru dezvoltarea unor retele industriale de senzori magnetici si identificatori in straturi subtiri [18], utilizarea unor metode avansate de optimizare industriala bazate pe inteligenta artificiala. Utilizand abordarea holistica, in cadrul arhitecturii sistemului auto-evolutiv pot fi complet integrate perechi multidomeniu senzor – procesor – actuator – automat programabil.

Prezentul studiu este in totala **coeziune cu principalele programe orizontale de cercetare-dezvoltare- inovare** la nivelul Uniunii Europene, in mod particular cu programul Horizon 2020 si respectiv cu Europe Digital Agenda 2020. La nivel national, studiul se incadreaza in preocuparile enuntate in Strategia Nationala de Cercetare, Dezvoltare Si Inovare 2014-2020, Strategia Nationala privind Agenda Digitala pentru România 2020 si Strategia Nationala de Competitivitate 2014- 2020.

Din punct de vedere al **interdisciplinaritatii,** studiul apartine mai multor domenii: inginerie electrica (inclusiv informatica aplicata), retele wireless de senzori industriali, infrastructuri de executie masiva paralela pentru conducerea in timp real a proceselor, inteligenta artificiale, industrie farmaceutica, procese industriale bazate pe benzi automatizate, logistica si distributie. O caracteristica interdisciplinara a acestui studiu este consecinta abordarii stiintifice privind modelarea software a proceselor dintr-un depozit farmaceutic, si care implica proiecte de cercetare in inginerie, precum dezvoltarea de: retele de senzori si sisteme duale de masura a parametrilor critici ai procesului, sisteme inteligente de suport a deciziei, sisteme inteligente cu comportament autonom, sistem unificat hardware si software pentru gestionarea proceselor in

timp real, controleri robusti pentru procese neliniare, sisteme inteligente de management, sisteme avansate de infrastructura suport al urmaririi inteligente in timp real a proceselor industrial [9-12].

Algoritmii evolutivi pot fi combinati cu alte tehnici traditionale simple sau complexe de optimizare (cum este si algoritmul de volumetrie), ceea ce permite evaluarea solutiilor in paralel iar selectiile sa fie prelucrate in serie. Acest lucru este un avantaj fata de alte tehnici de optimizare cum ar fi cautarea in interiorul experimentelor anterioare si imbunatatirea simulata. Algoritmii evolutivi pot fi folositi pentru a adapta solutiile la situatiile schimbatoare, pentru ca metodele traditionale nu ofera rezultatele asteptate in cazul modificarilor dinamice.

Au fost studiati si alti algoritmi relevanti, de exemplu algoritmii evolutivi care pot fi combinati cu paradigmele de sistem ale algoritmilor evolutivi-fuzzy si ale algoritmilor neuro-fuzzy, care imita evolutia indivizilor (spre deosebire de conceptul de populatie utilizat in algoritmul genetic) in natura, pe durata ciclului de viata, tipic uman: invatarea din experienta, mostenirea, schimbarea treptata si acumularea de cunostinte din operatiuni de rutina.

Provocarile studiului deriva si din rezistenta la schimbare a abordarii traditionale de cercetare, drept pentru care se va acorda atentie schimbului de informatii dintre diferitele discipline implicate, cu scopul de a integra cunostintelor provenite din surse diferite.

SISTEMUL INTEGRAT DE DISTRIBUTIE FARMACEUTICA

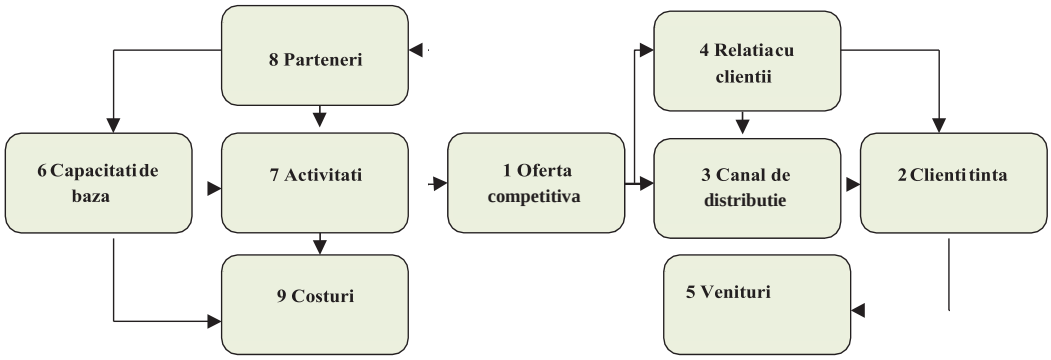


Fig. 1 Schema logica a modelului de afaceri a unei societati de distributie farmaceutica

Concentrandu-se pe dezvoltarea si implementarea unor tehnologii moderne in sistemele de management al depozitelor, folosind o abordare holistica, prezentul studiu vizeaza optimizarea proceselor de-a lungul intregului lant valoric. „Automatizarea industriala" implica o abordare holistica si reprezinta o provocare a cercetarii comportamentului complex al sistemelor ca un intreg. Evident, o cercetare pur analitica, al carei scop este de a intelege sistemele prin impartirea lor in elemente mai mici si intelegerea proprietatilor lor elementare, nu ar fi suficienta.

Elementele de Inginerie Electrica sunt extrem de importante in acest ansamblu.

Intr-un proces industrial, informatiile sunt valorile parametrilor continuu variabili sau statusul obiectelor discret variabile (de ex. senzori, traductori, comutatoare etc.). Informatiile obtinute prin utilizarea instrumentelor de masura si control sunt prezentate corespunzator pentru intelegerea desfasurarii procesului si pot fi utilizate pentru a optimiza permanent si a schimba intreaga activitate. **Devine astfel evident ca acuratetea masuratorilor reprezinta un factor critic privind succesul sistemului proiectat, iar**

amplasarea senzorilor necesita o buna cunoastere a functionarii lor.

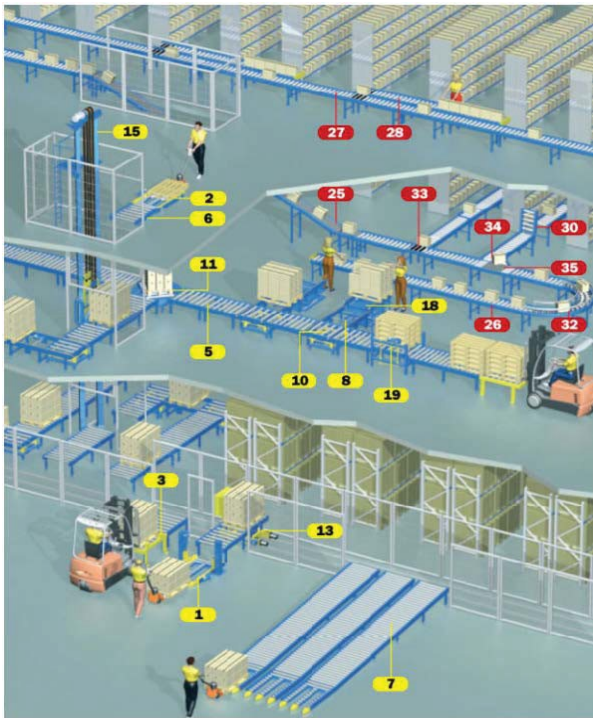


Fig. 2 Depozit de distributie farmceutica

Distribuirea unei game largi de produse farmaceutice de mare valoare reprezinta provocari speciale. Clientii (farmacii, spitale) au asteptari foarte mari privind timpul de livrare (livrari rapide si frecvente, uneori de mai multe ori in aceeasi zi) iar sistemul de calitate pune o mare presiune asupra operatiunilor din depozit. Increderea oferita clientilor si respectarea reglementarilor legale (standarde GDP/GMP) reprezinta cerinte vitale de functionare a unui depozit. Procesele si echipamentele trebuie sa fie complet validate si sa functioneze optim.

Automatizarea proceselor unei societati de distributie farmaceutica implica implementarea unui sistem integrat de conducere si gestionare a proceselor de business ERP (Enterprise Resource Planning) care este interfatat cu un sistem de management in timp real al depozitului WMS (Warehouse Management System).

Urmarind figura 2 constatam ca un management deficitar al depozitului va determina cresterea globala a chetuielilor, generata de extinderea spatiilor de stocare, cresterea personalului care deserveste depozitul, cresterea erorilor de procesare, dar si intarzierea livrarilor, nemultumirea clientilor si in final pierderea acestora in detrimentul competitorilor mai bine organizati din punct de vedere logistic.

PROCESUL INDUSTRIAL. ARHITECTURA FUNCTIONALA A SISTEMULUI

- **Warehouse management system (WMS)**
- **Warehouse controlling system**
- **Processing units**
- **Hardware devices for measurement, execution and control**

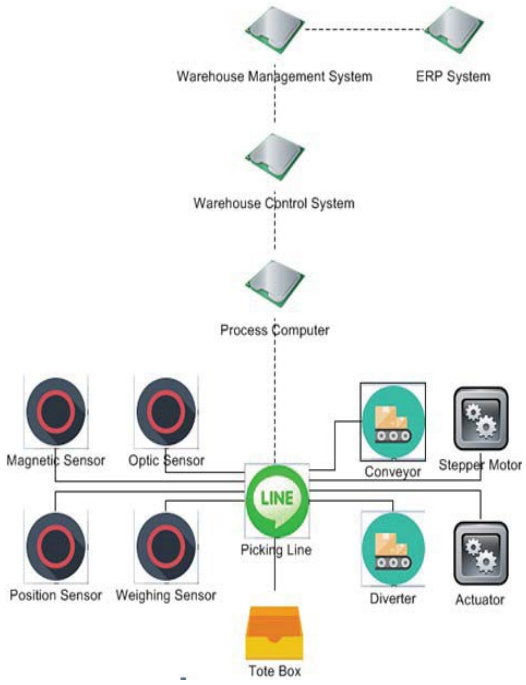


Fig. 3 Arhitectura generala a sistemului

- **Nivelul 1** este reprezentat de elementele hardware care alcatuiesc infrastructura fizica necesara activitatii elemente de transport, elemente de detectie (senzori si traductoare), elemente de comanda si control (executie – actuatori magnetici).

- **Nivelul 2** este reprezentat de computerele de proces care asigura interfata dintre elementele hardware de automatizare si sistemul informatic de control: o preia semnalele analogice sau digitale de la diversii senzori si traductori ai sistemului si asigura convertirea acestora in informatii digitale ce pot fi prelucrate de sistemul informatic o pentru elementele de executie asigura preluarea comenzilor informatice de la sistemul de control si le converteste in instructiuni de executie specifice fiecarui element

- **Nivelul 3** este sistemul de control al depozitului si foloseste o aplicatie informatica care asigura functionalitatile automate de baza ale sistemului de gestiune a depozitului. Rolul sau este de a pune la dispozitia sistemului de gestiune a marfii o serie de functii de nivel inalt legate de miscarile de marfa in depozit.

- **Nivelul 4** este reprezentat de sistemul de management al depozitului (WMS) - aplicatia care contine logica miscarilor de marfa in depozit: preia din ERP comenzile de vanzare si asigura toate procesele necesare pentru planificarea livrarilor (lista de culegere, tour plan, volumetrie) precum si pentru realizarea livrarii efective a marfii catre clienti (de culegere, verificare, impachetare, incarcare). Transmite in timp real catre ERP nivelul stocului pentru intreg portofoliul de produse.

Functiile dispozitivelor hardware de masura, executie si control, in care sunt specificati senzorii, traductorii, actuatorii magnetici sunt urmatoarele:

1- Senzor magnetic de proximitate - Semnaleaza cand ajunge tota in dreptul lui.

2.-Senzor RFID - Citeste eticheta plasata pe tota (ladita ce contine medicamentele pe banda transportoare). Avantajul utilizarii este dat de faptul ca scanarea etichetelor RFID într-un cîmp de radiofrecventa nu necesita o pozitionare precisa a obiectului la citire deoarece cîmpul de radiofrecventa penetreaza orice material nemetalic astfel încît nu mai este necesar contactul direct dintre eticheta avînd un dispozitiv RFID si echipamentul de citire.

3- Senzor optic – valideaza ce a masurat senzorul magnetic (sistem double-check).

4. **Cititor de cod de bare** – valideaza ce a citit senzorul RFID privitor la identificarea totei

5. Traductor de cantarire - masoara forta de apasare, verificand astfel prezenta medicamentelor in tota prin insumarea greutatilor acestora

6. Divertor – deviaza tota la trecerea de pe banda transportoare curenta catre o alta banda

7. Motor pas cu pas- antreneaza elementele benzii transportoare ce asigura deplasarea totelor pe circuit.

8. Senzor de pozitie – sesizeaza prezenta totei cu cod magnetic si determina devierea totei de pe o banda transportoare pe o alta. Devierea de pe o banda pe alta se face cu ajutorul unui divertor. In cazul acestei instalatii se pot folosi ca senzori de proximitate fie senzorii magnetici bazati pe efectul Hall, fie conectori Reed. Validarea informatiei transmise se va face prin compararea semnalului cu cel emis de senzorii optici.

9. Actuator - transforma, amplifica si transmite miscarea, masurand parametrii specifici: viteza de rotatie, pozitia, cantitatea.

OPTIMIZAREA CONTROLULUI SISTEMULUI PRIN MODELARE

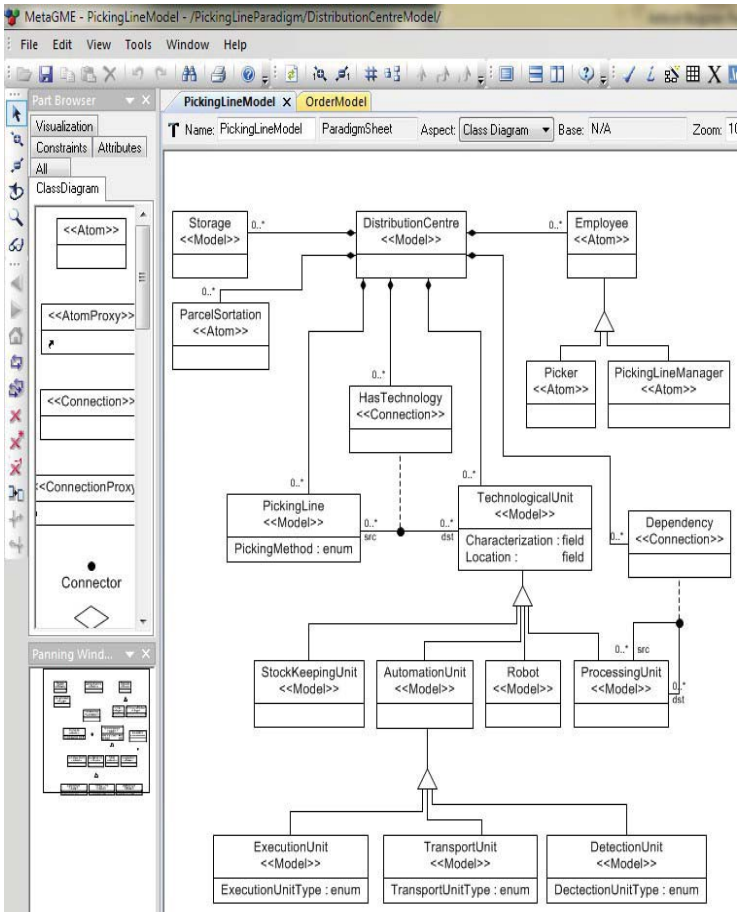


Fig. 4 Modelarea liniei de picking (de culegere a produselor)

Pentru sistemul analizat in teza, procesul de culegere a fost simulat folosind un model determinist discret pus in aplicare cu AnyLogicTM, considerind lucratorii si stivuitoarele operate de acestia, a caror rutare a fost optimizata intr-un mediu de simulare bazat pe HeuristicLab.

Transportul de la depozit la statiile de lucru a fost tratat in mod dinamic si a luat in considerare distantele si resurselor disponibile drept constrangeri de optimizare si a considerat ca acesta ar putea fi imbunatatit printr-un model stochastic. Optimizarea rutelor a fost realizata cu un algoritm genetic, care este similar cu PDPTW dinamic (Probleme privind culegerea si livrarea prin ferestre de timp).

In simularea functionarii sistemului analizat a fost aplicat un model stochastic privind fluxul de comenzi (ordine) de culegere, avand in vedere probabilitatea ca o cerere de culegere sa apara la o anumita locatie si luand in consideratie si spatiul dintre locatii. Astfel s-a estimat distanta si timpul de mers pe jos pentru trei configuratii de design: depozit simplu, depozite duble cu transportoare si depozit cu transportoare si RFID (identificare prin radio- frecventa). Simularea lor a demonstrat ca o decizie de investitie in tehnologie trebuie sa ia in considerare frecventa de culegere si omogenitatea statiilor de culegere

Limbajul de modelare propus contine trei parti/modele importante:

- **OrderModel**, ontine o ierarhie a elementelor pentru modelarea diferitelor unitati tehnologice care insotesc aceasta parte a sistemului de date, cum ar fi: unitati de detectare (care sunt reprezentarea abstracta de senzori, scanere de coduri de bare sau cititoare RFID) sau unitati de executie (motoare electrice, elemente de actionare, imprimante, masini de sigilare).

- **PickingLineModel**, modelarea liniilor de culegere si reprezinta o caracterizare generica pentru masurarea instrumentelor si sistemelor si a fost utilizata anterior intr-un mediu de integrare de date numit EquiLAB [6]. Scopul acestuia a fost de a crea o biblioteca de modele care pot fi utilizate pentru datele obtinute din surse de parsare neomogene si a le integra intr-un baza de date comuna pentru o prelucrare ulterioara.

- **Instrumente**, o clasa de obiecte importata si reutilizata in cadrul acestui studiu.
  S.-a obtinut o reprezentare vizuala a sistemului de depozit, a carui complexitate a condus la o colectie de diagrame legate intre ele folosindu-se conceptele din modelarea liniei de culegere si prin adaugarea de reprezentari specifice bazate pe clasa de obiecte “Instrumente” pentru unitatile de automatizare, de depozitare transport si de executie, in conformitate cu specificatiile tehnice ale acestora.

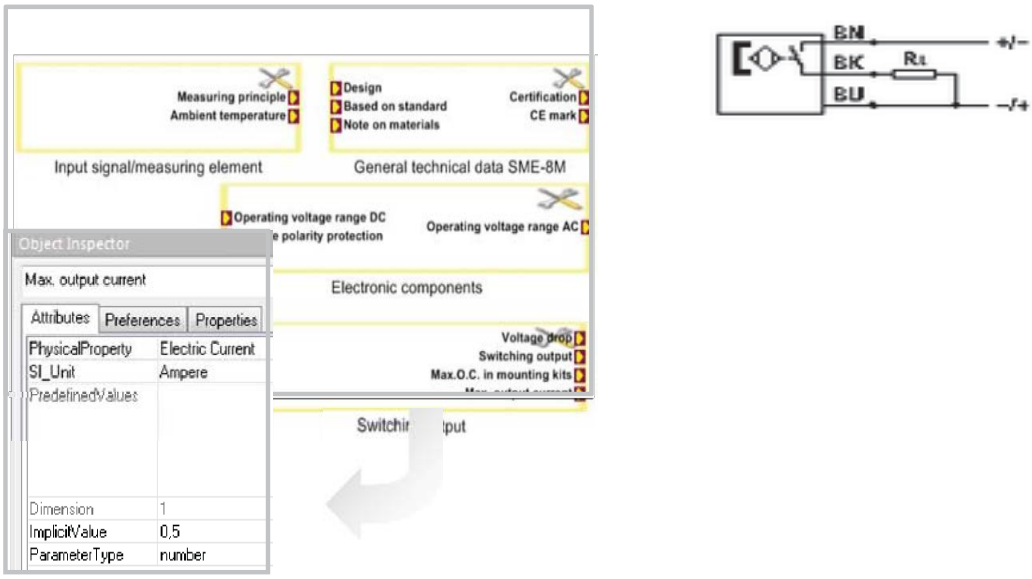


Fig. 5 Descrierea datelor tehnice ale unui senzor magnetic de proximitate tip Reed.
S-a luat ca exemplu un releu magnetic de tip Reed, ce are o constructie simpla si este format dintr-un

contact intrerupator care este plasat pe un brat al unei carcase in forma de U.
Pe celalalt brat este montat un magnet permanent. Atunci cand un obiect metalic trece printre bratele carcasei, are loc ecranarea liniilor de forta ale magnetului ceea ce determina schimbarea starii releului.

Un astfel de senzor de proximitate [7], poate fi modelat folosind clasa « Instrumente », pe baza capacitatilor de a achizitiona date sau de a se adapta conform diferitelor setari (vezi Fig. 5).

Editorul a sprijinit generarea unei descrieri hipertext, prin exportul intregului model, cu mai multe diagrame ale sale, intr-un singur fisier XML (Extensible Markup Language). Aceasta facilitate este importanta pentru integrarea in continuare cu alte sisteme, cum ar fi EquiLAB pentru integrarea datelor, dar si cu diverse alte sisteme pentru optimizarea configurarii elementelor de automatizare ale liniei de culegere precum si a proceselor asociate.

Reprezentare formala a arhitecturii depozitului este esentiala pentru monitorizarea in timp real a numeroase dispozitive care controleaza functionarea sa, pentru depistarea timpurie a erorilor si pentru analize suplimentare a log-urilor de system in scopul imbunatatirii proceselor si a calitatii generale a sistemului.

INFRASTRUCTURA FIZICA A MEDIULUI EXPERIMENTAL

Analiza efectuata asupra depozitului farmaceutic-tinta a evidentiat mai multe zone de interventie in cadrul procesului industrial. Dintre acestea, am identificat, din punct de vedere tehnic si functional, **principalele elemente de Inginerie Electrica ce pot contribui la modernizarea sistemului de distributie farmaceutica**.

In prezent, **modul de operare pentru mediul industrial** este: o comanda este introdusa in sistem, iar pentru aceasta se aloca una sau mai multe tote, care incep sa se deplaseze pe o banda rulanta catre statiile de culegere. Prezenta totei este verificata cu ajutorul unei suite de senzori amplasati la nivel de banda (senzori optici de proximitate). Operatorii depoziteaza reperele cerute in comanda atasata totei atunci cand acestea ajung la statiile de culegere, preluand produsele din rafturile in care sunt stocate. Totele continua catre o zona de verificare unde sunt cantarite pentru a verifica, intr-o maniera cantitativa prezenta tuturor reperelor necesare. In cazul finalizarii cu succes a acestei probe, ele avanseaza catre zona de sigilare si livrare, unde sunt preluate de pe banda rulanta de alti operatori si livrate catre destinatiile lor finale.

In urma analizei si descrierii arhitecturii solutiei inovative **am stabilit un numar semnificativ de deficiente in sistemul industrial standard** de management al comenzii de la emitere la expediere precum:

1. Pozitia unei tote in sistem nu poate fi urmarita cu o precizie buna, pentru a observa din timp o eroare de traseu sau o posibilitate de optimizare a acestuia in cazul unei congestii la o anumita statie de culegere.
2. Lipsa unei corelatii intre operatorul care proceseaza comanda si tota de procesat, ceea ce ingreuneaza urmarirea totei si poate determina aparitiei unor erori pe parcursul procesarii acesteia;
3. Existenta unei singure metode de verificare a integritatii unei comenzi procesate (metoda cantaririi);
4. Existenta unei singure metode de urmarire a totei pe parcursul benzii prin etichete cu cod de bare si cititor optic (care se degradeaza/ defecteaza in mediul industrial).
5. Detectia instrainarii unui produs din depozit nu poate fi probata decat printr-un control fizic.

In continuare vom expune **o directie de imbunatatire a mediului industrial cu o suita de senzori si traductori**, meniti sa remedieze aceste neajunsuri si sa imbunatateasca randamentul activitatii.

MODERNIZAREA SISTEMULUI DE DISTRIBUTIE FARMACEUTICA

Obiective privind modernizarea sistemului:

- **Detectia erorilor de procesare cu ajutorul retelei duale de senzori magnetici-optici** si corelarea senzorilor de operator de tip beacon cu senzorii de cutie/banda si implicit prezicerea potentialelor erori. Analiza inferentiala si predictiva va fi realizata cu metode moderne bazate pe arbori de decizie pentru ca ulterior administratorul sistemului sa inteleaga procesul/situatia/factorii care au generat respectiva eroare.

- **Analiza si culegerea continua de informatii telemetrice de la o retea avansata de senzori** ce va combina senzori magnetici, optici si mecanici la nivelul benzii, senzori magnetici si RFID la nivelul cutiei transportate de banda, senzori magnetici, RFID si de tip beacon pentru operatorul uman. Astfel o retea neurala adanca va fi folosita pentru prezicerea timpilor de finalizare a unei comenzi prin analiza continua a fluxului de date din reteaua de senzori. Sistemul va evolua continuu si va tine cont de toti parametrii de operare ai procesului industrial, de la aspecte ca fluctuatia personalului in functie de perioada anului, reactivitatea /responsivitatea angajatului pana la tipurile de comenzi si clienti deserviti.

- **Realizarea unui ansamblu magnetic-optic-mecanic combinat cu inteligenta artificiala** prin care sa se reduca rata erorilor in procesul de incarcare/procesare a comenzilor. Datele sistemului vor fi generate din surseca:

a) senzorul de masa dispus pe banda prin care se analizeaza masa totala a cutiei/totei,
b) camera optica industriala (din gama NVidia Jetson TX1/TX2) dispusa deasupra benzii care filmeaza continutul cutiei/totei la un anumit punct de control. In final, o retea neurala adanca convolutionala va fi utilizata pentru detectarea erorilor de incarcare prin recunoastere vizuala si analiza de parametri aditionali.

Selectia senzorilor pentru cerintele depozitului farmaceutic

Propunerea este axata in jurul **extinderii instalatiei actuale, la nivel de banda rulanta, depozit si operator uman cu senzori si traductori de tip magnetic sau electromagnetic**. Propunerea include doua tipuri de dispozitive, analizate in detaliu intr-o sectiune ulterioara, impartite in doua categorii, tinte („tag”-uri) magnetice si electromagnetice, clasificate in continuare drept dispozitive de identificare si cititoare echipate cu antene pentru acesti identificatori, clasificate drept senzori inteligenti (afirmatia este sustinuta de faptul ca acestia proceseaza si transmit datele mai departe catre un server).

Mai exact, se vor folosi **doua tipuri de identificatori: filme subtiri din aliaje metalice si antene radiale in tehnologie RFID** (identificare radio de scurta distanta). Primul tip este propus spre amplasare la nivel de tote si produse, datorita dimensiunilor mici ale acestuia, iar al doilea tip se va amplasa tot la nivel de tote, dar si pe rafturile in care sunt tinute produsele, in dreptul acestora. **Antenele** corespunzatoare interactiunii cu cele doua tehnologii evidentiate se vor amplasa in urmatoarele puncte cheie: a) la nivel de banda de transport, cu o frecventa suficienta pentru a identifica si pozitiona cu o precizie buna parcursul totelor in deposit; b) la nivel de operator uman sub forma unei bratari pentru a asigura o corelatie intre produsele scoase din depozit si comenzile procesate, dar si; c) la nivel de puncte de acces in depozit pentru a impiedica orice intentii malitioase.

O atentie sporita a fost acordata selectiei metodei de extindere a instalatiei actuale, cat si pentru tehnologiile folosite, astfel incat **sa fie asigurata restrictia specifica unui mediu industrial de interferenta si compatibilitate electromagnetica**: elementele magnetice si electromagnetice sunt de raza scurta (<1m), pentru a nu interfera cu celelalte dispozitive electrice sau electromecanice folosite in prezent.

Senzorii folositi sunt echipati cu antene pentru interactiunea cu tag-urile, descrise anterior ca fiind de proximitate, si vor comunica peste tot unde este posibil printr-o **interfata cablata pentru evitarea interferentelor**. Cu toate acestea, cei sub forma de bratara, folositi de operatori vor comunica intr-o tehnologie wireless [1], dar intr- un spectru care evita frecventele uzuale (2,4 GHz, 5 GHz si in general tot ce este in spectrul de GHz) tot din motive de diminuare a interferentelor, cat si a congestiei spectrale asociate multitudinii de dispozitive mobile ce opereaza in aceasta zona.

Un alt aspect important implicat in propunerea prezenta este cel al costurilor asociate dispozitivelor, astfel majoritatea obiectelor din depozit sunt dotate cu tag-uri pasive (fara alimentare sau logica de functionare complexa), cu cost redus de achizitie sau mentenanta, dispozitivele active fiind folosite doar in locurile unde sunt absolut necesare (la nivel de operator uman, banda transportoare sau puncte de acces).

Descrierea arhitecturii

Conform cu cele expuse anterior si tinand cont de arhitectura prezenta, subliniem faptul ca aceasta este gandita pentru a fi transparenta pentru cei implicati in acest proces. In continuare, dispozitivele implicate sunt exemplificate respectand conventia urmatoare:

- Antene de tip magnetic, in strat subtire din aliaje moi, sunt reprezentate sub forma unei linii serpuite.
- Antenele pentru tehnologie RFID sunt reprezentate sub forma unei spirale Arhitectura propusa este impartita in trei straturi, exemplificate sugestiv in Fig. 6

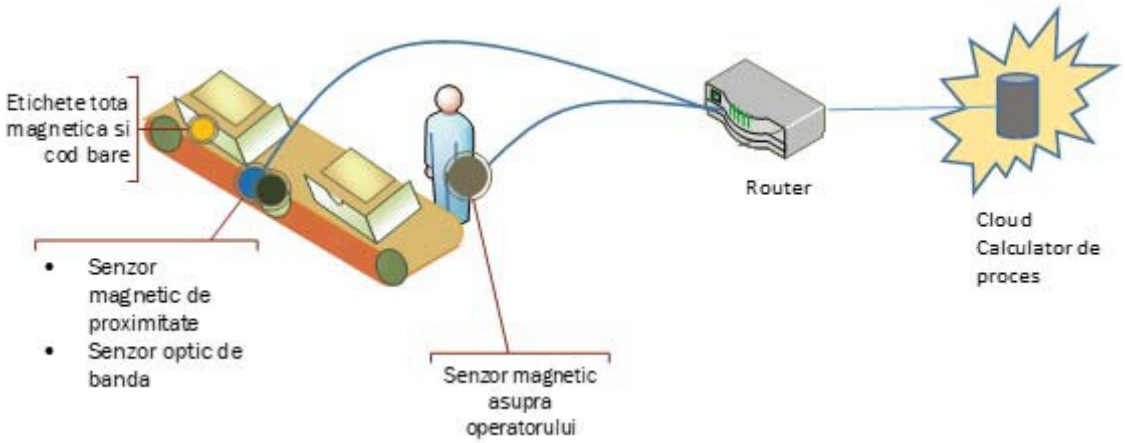


Fig. 6 Arhitectura propusa

Vom prezenta in continuare abordarea si imbunatatirile de la nivelul de banda/operator, catre mediul de procesare si analiza de tip cloud, cat si nivelul intermediar de interconectare, descris in continuare drept router. Cele trei niveluri se afla intr-o conexiune permanenta pentru a furniza toate informatiile necesare pentru analiza, avand implementate in fiecare punct mecanisme de tratare a erorilor si redundanta in metoda de comunicare catre cloud.

A) In interiorul depozitului **propunem amplasarea filmelor metalice asupra dispozitivelor/totelor**, datorita dimenisiunilor reduse si a avantajelor descrise anterior. **In dreptul fiecarei sectiuni de produse propunem amplasarea unor tag-uri de tip RFID** pentru a realiza corelatia intre produsul extras si operatorul responsabil de procesare (figura 7). Astfel, se asigura atat o informatie cantitativa despre reperul vizat, cu ajutorul primelor tag-uri, cat si o informatie calitativa, respectiv care dintre repere este procesat in prezent.

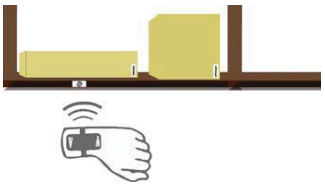


Fig. 7 Amplasarea senzorilor pe rafturi si la incheietura operatorilor

B) In continuare, conform cu modul de desfasurare a comenzii in interiorul depozitului, totele sunt dotate initial doar cu coduri de bare. **Totele se vor completa cu filme subtiri dispuse in spatele codului de bare** care vor asigura necesarul la nivel fizic pentru noile functionalitati propuse spre implementare. **Pozitia permite atat interactiunea cu senzorii dispusi la nivel de banda, cat si cu bratarile purtate de operatori** (figura 8). Alegerea pozitionarii asupra elementelor vizate a avut in vedere necesitatile specifice ale tehnologiilor magnetice si anume raza scurta de operare.

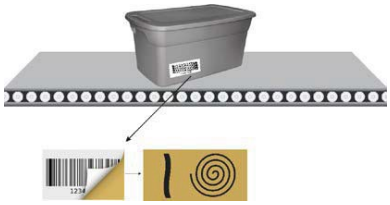


Fig. 8 Amplasarea senzorilor pe tota

Informatia privind interactiunea locala dintre elementele aflate in miscare in interiorul depozitului trebuie trimisa catre cloud; pentru aceasta, **propunem instalarea in diferite puncte din interiorul depozitului a unor dispozitive de tip router pentru retele iWSN** intr-o strategie exemplificata in Fig. 8.

In consecinta, senzorii propusi rezolva aceste probleme, putandu-se remarca faptul ca:

1. pentru operatorul uman se propune amplasarea unui „*beacon (custom built)*” sub forma unei bratari care sa ofere sistemului informatii despre pozitia in spatiu si interactiunea cu totele;

2. pe parcursul derularii experimentului a fost constatata posibilitatea de extindere a intregului sistem propus, cu o noua subcomponenta inovativa compusa dintr-o camera industriala si un dispozitiv incorporat de calcul de mare capacitate. Practic, pentru a verifica integritatea totelor se propune amplasarea unor module cu camere de luat vederi pentru inspectia vizuala a produselor din tota - modul bazat pe NVidia Jetson TX1, sau TX2, modul capabil de procesare autonoma a informatiilor si care poate sustine o retea neurala

3. dotarea totelor cu senzori RFID pentru a asigura metode multiple de urmarire a pozitiei si interactiunea cu operatorul uman.

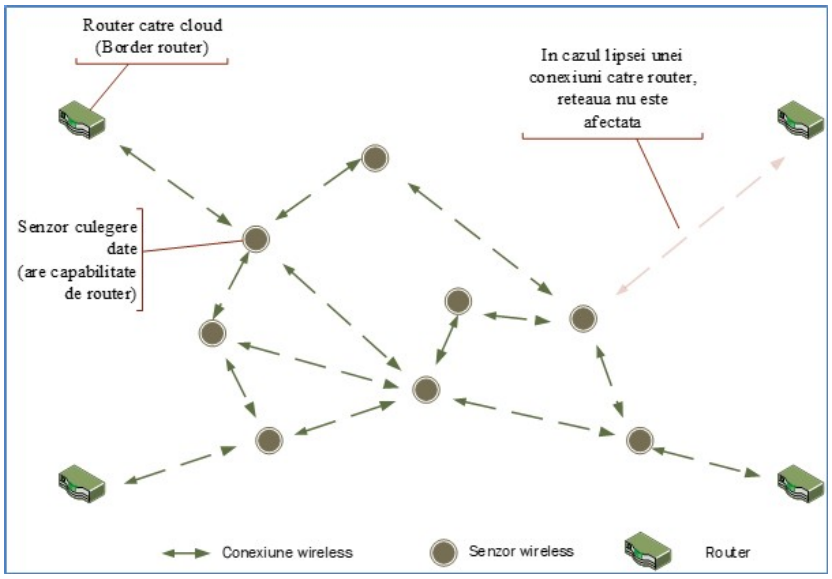


Fig. 9 Schema generala iWSN

Motivele selectiei sunt: consum redus de energie pentru dispozitivele de tip *beacon* destinate operatorilor (pentru a asigura functionalitatea pe parcursul intregului program de lucru), taguri RFID pentru totele alese pentru ca sunt transparente in activitatea obisnuita a operatorului (acesta interactioneaza cu tota prin proximitate, fara efort suplimentar, nu trebuie sa foloseasca un cititor de bare indreptat special catre zona de interes) asigurand astfel un plus de date fara a sacrifica randamentul. Tag-urile propuse se remarca prin viteza mare de interactiune (se pot procesa pana la 8 taguri pe secunda), cantitatea de informatie pe care o pot stoca (pana la 144B), certificare IP68, rezistent la temperaturi inalte, socuri mecanice sau alti factori intalniti in mediul industrial.

Parametri si caracteristici fizice ale retelei iWSN

Conform cu structura descrisa anterior, exista un numar mai mare de routere, astfel incat semnalul sa poata fi preluat din orice punct continut in interiorul depozitului, iar in eventualitatea defectarii unui dispozitiv de rutare, celelalte sa asigure in continuare o legatura catre server. Mai mult, pentru ca discutam despre o retea iWSN, senzorii amplasati in spatiu au capabilitati interne de rutare a comunicatiilor, devenind la randul lor routere daca nevoia o impune (unul dintre dispozitive nu se afla in raza unui router, dar este totusi in proximitatea altui dispozitiv care la randul sau este sub incidenta unui alt router). Se poate observa ca aceasta configuratie, denumita in continuare retea mesh, are o rata de eroare scazuta comparativ cu o topologie clasica de tip stea (cu un singur router si senzori fara capabilitate de rutare). Raza de acoperire este extinsa ceea ce ofera mai mule cai de comunicare a informatiilor acumulate (redundanta sporita) (figura 9).

Infrastructura descrisa in Fig. 9 are la baza un numar de routere pentru asigurarea conectivitatii catre cloud, propunerea fiind: platfoma Firefly 6lowPAN. Modulul asigura conectivitatea intre o retea clasica, cablata, si o retea de senzori de tip mesh. Canalul de comunicare intre senzori si routere este prin tehnologie Zigbee sau BLE, fiind compatibila la nivel de protocol. Senzorii wireless folosesc platforma SensorTag, interfatati cu modulele RFID descrise anterior.

Descrierea tehnica a retelei de senzori

In continuare vom prezenta tehnologiile implicate in arhitectura propusa pe partea de senzori, caracteristici definitorii pentru acestia, avantajele prezentate, precum si cum sunt caracterizati sau ce comportament prezinta in cazul intampinarii unor erori.

Plecand de la interfata dintre obiectele in miscare sau stationare ce prezinta interes pentru a fi identificate, vom folosi tehnologii magnetice pentru filmele nanocristaline si tag-urile RFID. Principalele caracteristici tehnice sunt prezentate in continuare.

A) Tag-urile RFID - folosesc principii electromagnetice, prin care un dispozitiv pasiv (o antena cuplata cu un circuit integrat) foloseste energia radiata de un cititor pentru a se alimenta si a transmite date.

Avantajele pentru prezenta aplicatie sunt:
a) Distanta scurta de interactiune (1-10 cm) asigura lipsa interferentelor cu alte sisteme electrice si electromecanice amplasate in mediul industrial.
b) Functia de anticoliziune - atunci cand sunt mai multe taguri in proximitatea cititorului, se poate face o distinctie intre ele in scopul de a fi citite pe rand.
C) Tratarea erorilor, la nivel hardware, in integratul din interiorul tag-ului este implementata o masina cu stari finite pentru tratarea erorilor aparute in oricare dintre starile de functionare (detectie, transmitere date, interpretare comenzi)

B) Materialele magnetice in strat subtire (filme) nanocristaline, se folosesc pentru detectia unor obiecte intr-o zona de interes, avand caracteristicile:
a) 1-2 m distanta de interactiune; in cazul unor cititoare alimentate permanent, campul rezonant generat de tag- urile magnetice se poate detecta de la o distanta suficienta pentru a asigura mediul necesar conditiilor expuse anterior.
b) Dat fiind ca nu exista nici un circuit integrat cu functii logice la nivel de tag, putem afirma ca, daca este dimensionata corespunzator antena pentru detectie, nu vor exista erori.

In vederea completarii retelei de senzori optici standard cu senzori magnetici si construirea retelei de senzori magneto-optici se au in vedere urmatoarele aspecte:

1. Pentru sistemul de interfatare cu senzori magnetici de tip tag se propune folosirea urmatoarelor dizpozitive:

a) Module NFC capabile de citire/scriere taguri precum:
   i) EZ430 de la Texas Instruments;
   ii) T3H2111 de la NXP Semiconductors.

   Cititoarele se remarca prin gama extinsa de temperaturi de operare, certificari FCC si CE pentru operare sigura si capabilitati multiple de interfatare (SPI/I2C) cu senzorii wireless descrisi mai jos.

   Un alt aspect important este compatibilitatea cu multiple standarde ISO, printre care ISO14443, ISO15693 si ISO18001, asigurand scalarea usoara catre multiple tag-uri de la diferiti producatori (in cazul in care un tag devine indisponibil, se poate face o tranzitie usoara catre alt furnizor/tip).

b) Tagurile propuse:
   i) NTAG210;
   ii) NTAG213.

   Acestea sunt disponibile in diferite forme si se remarca prin urmatorii factori: temperatura de operare intre - 40 si 200 grade Celsius, rezistenta la agenti corozivi, certificare IP68, timp rapid de interactiune (<200µs), anticoliziune implementata hardware pentru evitarea falselor scanari.

2. Ca alternativa, se poate explora o directie noua, cu tag-uri si cititoare UFH (frecvente apropiate de 1GHz). Aceasta alternativa nu este propusa in experiment, dar poate fi avuta in vedere ca o

alternativa.

3. Pentru satisfacerea cerintelor de trasabilitate/pozitionare a operatorilor umani, propunerea experimentala este urmatoarea:

   802.15.4 ad (routere wifi cu capabilitate de pozitionare interioara) pentru care senzorii sunt alcatuiti din:
   - solutie de management al alimentarii si acumulator Li-Ion (>2000mAh, JEITA compliant)
   - procesare si conectivitate intr-un singur chip (de genul cc3200) (reprezinta un mare avantaj faptul ca solutia este cu nivel mare de integrare, FCC compliant) interfatare magnetica cu cititor activ implementat cu ajutorul TRF7960A sau PN7120 (pentru a suporta cat mai multe standarde: ISO14443, ISO15693, ISO18001), conform celor descrise la punctul anterior.
   - comunicator de mica putere Bluetooth.
   - procesor CC2650, utilizat si pentru comunicatii integrate.

In concluzie, pentru completarea senzorilor optici standard cu cei magnetici, se propune o infrastructura mixta, in care senzorii impart aceeasi arhitectura hardware de procesare si comunicatii.

ARHITECTURA RETELEI DE SENZORI MAGNETO-OPTICI

Abordarea propusa are la baza principiul scalabilitatii. In cele ce urmeaza vom descrie arhitectura prin care se va asigura un flux de date bun si de incredere pentru mediul software decizional. Pentru a se asigura suportul tehnologic pentru dezideratele descrise anterior este necesara colectia mai multor **date din mediul industrial**:

- **pozitia in timp real a "tote-lor**"/cutiilor de transport marfa, pe parcusul deplasarii acestora; totele sunt deplasate in interiorul incintei cu ajutorul unor benzi rulante, fiind directionate catre statiile de culegere. Pentru a urmari traseul acestora pe banda rulanta, totele au atasate coduri de bare, scanate periodic, in puncte de decizie a traseului, cu ajutorul unor senzori optici.
- **pozitia in timp real a operatorilor** in spatiul depozitului, folosind o tehnologie state-of-the-art pentru localizarea acestora in interiorul cladirii, acolo unde tehnologii clasice de pozitionare, precum GPS, nu functioneaza. Implementarea se poate face folosindu-se punctele de conectare WiFi existente in locatie daca software-ul acestora permite (sunt conforme cu standardui IEEE802.15.4a).
- **corelarea operator-tota** pentru a observa progresul comenzii in timp real, asigurand astfel o concordanta intre actiunile intreprinse de operator in momentul prelucrarii comenzii specifice totei, urmarind minimizarea timpului de prelucrare, cat si optimizarea randamentului.

Senzori magnetici de proximitate

Acesti senzori semnaleaza cand ajunge tota in dreptul lui (tota este ladita ce contine medicamentele pe banda transportoare). Pentru a semnala sosirea totei in dreptul lui, senzorul trebuie sa fie un senzor de proximitate. Distanta la care acesti senzori releva obiecte se numeste „distanta de vedere". Absenta unui contact efectiv cu senzorul confera o incredere ridicata si o rata mica a erorilor. Acesti senzori pot fi : inductivi, capacitivi, magnetici, cu ultrasunete, optici. Semnalul de iesire la senzorii de proximitate releva numai prezenta sau absenta unui obiect in interiorul distantei de vedere nominale a senzorului. In consecinta, semnalul electric de iesire va fi de tip on/off.

Chiar daca sunt prezenti senzori de diferite tipuri, **senzorul magnetic este utilizat in mod prioritar in cadrul acestui sistem automat**, in scopul detectarii pozitiei cutiei cu medicamente. Luand in considerare

conditiile de functionare dintr-un depozit de produse farmaceutice, senzorii magnetici sunt preferati datorita fiabilitatii acestora, rezultatelor corecte oferite in cadrul proceselor in timp real dar si lipsei erorilor cauzate de factorii de mediu existenti. Cele doua tipuri de senzori magnetici analizati, dupa efectul fizic care sta la baza functionarii lor au fost alesi:

- senzori magnetici de proximitate cu releu Reed
- senzori magnetici de proximitate cu efect Hall

Modelele realizate cu contacte Reed sunt preferate datorita fiabilitatii, si a costului redus. Ele au o viteza de comutare joasa (pana la 50Hz). Cele cu efect Hall pot comuta cu viteze mari (pana la mii de Hz).

Senzori magnetici de proximitate cu releu Reed.



Fig. 10 Exemplu de amplasare a senzorilor de proximitate pe banda transportoare a liniei de culegere

ELEMENTE DE INFRASTRUCTURA PENTRU MODERNIZARE

Pentru operatorii din incinta propunem un nod de procesare inteligent, dotat cu conectivitate RFID pentru interactiune si culegere date din proximitatea acestora (interactiunea cu tota), dar si o conexiune RF pentru transmiterea datelor catre un border-router si calcularea vectorului de pozitie in spatiu. Router-ul are o constructie speciala, pentru a suplini necesitatile specifice zonei industriale farmaceutice. Punctele cheie pentru dispozitiv sunt: rezistenta la interferente specifice mediului industrial in benzile radio uzuale (2 - 5 GHz), evitarea cu totul a benzilor uzuale pentru a nu se crea congestie spectrala, optimizarea transmisilor de date pentru obtinerea unei durate de viata a bateriei sporita.

- **pozitia in timp real a operatorilor** in spatiul depozitului, folosind o tehnologie state-of-the-art pentru localizarea acestora in interiorul cladirii, acolo unde tehnologii clasice de pozitionare, precum GPS, nu functioneaza.

  Implementarea se poate face folosindu-se punctele de conectare WiFi existente in locatie daca software-ul acestora permite (sunt conforme cu standardui IEEE802.15.4a)

- **corelarea operator-tota** pentru a observa progresul comenzii in timp real, asigurand astfel o concordanta intre actiunile intreprinse de operator in momentul prelucrarii comenzii specifice totei, urmarind minimizarea timpului de prelucrare, cat si optimizarea randamentului.

  Pentru operatorii din incinta propunem un nod de procesare inteligent, dotat cu conectivitate RFID pentru interactiune si culegere date din proximitatea acestora (interactiunea cu tota), dar si o conexiune RF pentru transmiterea datelor catre un border-router si calcularea vectorului de pozitie in spatiu. Router-ul are o constructie speciala, pentru a suplini necesitatile specifice zonei industriale farmaceutice. Punctele cheie pentru dispozitiv sunt: rezistenta la interferente specifice mediului industrial in benzile radio uzuale (2 - 5 GHz), evitarea cu totul a benzilor uzuale pentru a nu se crea congestie spectrala, optimizarea transmisilor de date pentru obtinerea unei durate de viata a bateriei sporita.

Implementarea la nivel fizic a retelei de senzori fara fir presupune **trei tipuri de dispozitive**:

- **Routere** capabile sa preia informatiile din interiorul mediului industrial si sa realizeze conexiunea catre cloud pentru procesare ulterioara. Tinand cont de faptul ca mediul industrial este mai zgomotos si cu conditii mai grele de operare, fata de un mediu casnic, routerele trebuie sa raspunda la cerinte aditionale: autonomie in cazul unei pene de curent, stocare locala in cazul lipsei unei conexiuni catre cloud, putere ridicata a semnalului RF pentru a acoperi zonele vizate (zone mari). Ca tehnologie, trebuie sa asigure minim o comunicare de tip Ethernet (internet pe fir) cat si GSM (pentru redundanta, in cazul lipsei conectivitatii locale), iar pentru comunicarea cu node-urile din incinta se recomanda folosirea unei tehnologi de tip ZigBee (IEEE 802.15.4) sau WiFI de banda ingusta (IEEE 802.11ah)

- **"Noduri"** care sa culeaga informatia de la sursele vizate (tote, banda transportoare sau operatorul uman), dezvoltate cu scopul de a face fata conditiilor expuse anterior. Acestea trebuie echipate cu tehnologia corespunzatoare pentru a comunica cu routerele de acces, sa ofere o autonomie sporita pentru a nu intrerupe fluxul de date in mijlocul procesului de functionare (facem referire la alimentare din surse multiple: acumulator, tensiune joasa sau tensiune inalta, in functie de disponibilitate). De asemenea, pentru a asigura o conectivitate sporita si a reduce riscul pierderii de date, node-urile sunt capabile, conform protocolului ales, sa comunice intre ele, devenind la randul lor routere, rezultand astfel avantajul unei arii extinse de amplasare a dispozitivelor, cat si redundanta de transmisie a datelor pentru a evita pierderea acestora din motive de transport. Tot pentru noduri, se doreste implementarea capabilitatii de comunicare prin tehnologie RFID, de scurta distanta, pentru a asigura conectivitatea cu senzorii magnetici amplasati pe tote.

- **Senzorii magnetici pasivi**, amplasati pe tote sau pe ambalajul produselor, au rolul de a oferi pentru noduri informatii de pozitionare. Senzorii au fost alesi special pentru a face fata mediului industrial.

- Pentru senzorii optici, deja existenti, se monteaza noi senzori pe post de relee (doar preiau datele de la cei deja montati, fara sa afecteze infrastructura actuala**).**

SISTEMUL DE AUTOREGLARE

Intreaga abordare propusa se bazeaza pe utilizarea retelelor neurale adanci pentru cercetarea si dezvoltarea experimentala a unui model de tip ansamblu de agenti cu invatare automatizata care **sa poata rezolva urmatoarele probleme** prin invatare si auto-adaptare continua:

- Determinarea timpului optim de proces industrial in baza unui set de obiective-sarcini
- Determinarea parametrilor optimi de proces industrial in baza unui set de obiective-sarcini
- Auto-adaptarea la modificarile ecosistemului industrial fara necesitatea interventiei umane

Sistemul de autoreglare predictiva are **patru componente majore**:

- **Sistemul dual de senzori**, care preia datele masurate in linia de culegere, referitoare la tota (pozitie in linia transportoare si identificarea totei), operatorul care efectueaza operatia de culegere a medicamentelor, verificarea acuratetii operatiei de culegere si viteza benzii transportoare.

- **Sistemul de predictie**, bazat pe reteaua neurala adanca, avand drept scop optimizarea functionarii proceselor desfasurate in zona de culegere, reducerea semnificativa a erorilor de sistem si de culegere a medicamentelor, asigurand in plus vizibilitate asupra potentialului de servire a clientilor si asupra timpilor de executie.

- **Algoritmul de volumetrie** (ERP, modulul Warehouse Management System), care optimizeaza dispunerea totelor in banda transportoare si selectia tipului de tota mare/mica in functie de volumul de medicamente aferent comenzii de licrare care urmeaza sa fie procesata.

- **Sistemul de actionare**, compus din automate programabile PLC de tip Schafer si actuatori care actioneaza motoarele benzii transportoare.

Sistemul este unul cu autoreglare si este definit de marimea de intrare si referinta (r), marimea de iesire (y) si factorii perturbatori – vezi Fig. 11. Algoritmul de predictie urmareste asigurarea unor valori cat mai apropiate intre marimea prezisa si marimea de iesire, eroarea procentuala a predictiei fiind de maxim 5 %.

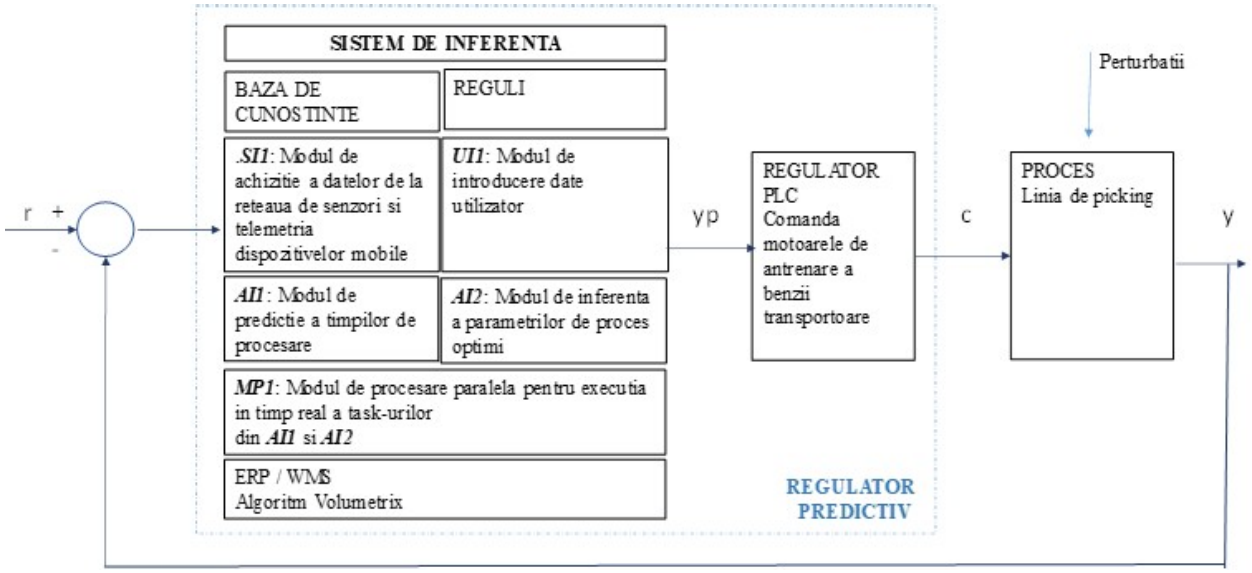


Fig. 11 Structura sistemului de reglare automata predictiva;
r – marimea de referinta; c – comanda; y – iesirea; yp – iesirea prezisa

ALGORITMI DE CONTROL. MODELAREA RETELEI NEURALE

In cele ce urmeaza vom face prezentarea modelului matematic principial de analiza a informatiilor si inferenta a deciziilor, bazat pe invatarea cu propagare inversa in retele neurale adanci [8]. Conform descrierii anterioare acest model va primi datele generate de reteaua de senzori, va combina aceste date cu datele introduse de operatorii umani si **va realiza urmatoarele operatii**:

(1) auto-adaptare prin invatare in timp real (invatare on-line) a modificarii parametrilor de functionare a retelei de senzori sau a altor elemente din cadrul mediului de productie (depozit farmaceutic)

(2) generarea in timp real de predictii/inferente referitoare la succesiunea optima de operatii necesare pentru atingerea unui anumit scop, astfel concret in cazul automatizarii unui depozit farmaceutic este necesara inferenta de:
   - rute optime la nivel de utilaj mobil,
   - sub-rute optime la nivel de operator uman,
   - optimizarea de culegere-list,
   - alegerea operatorului uman ideal pentru o anumita structura de culegere-list, s.a.m.d.

SI1: Modul de achizitie a datelor de la reteaua de senzori si telemetria dispozitivelor mobile	***UI1***: Modul de introducere date utilizator
AI1: Modul de predictie a timpilor de procesare	***AI2***: Modul de inferenta a parametrilor de proces optimi
MP1: Modul de procesare paralela pentru executia in timp real a task-urilor din ***AI1*** si ***AI2***	

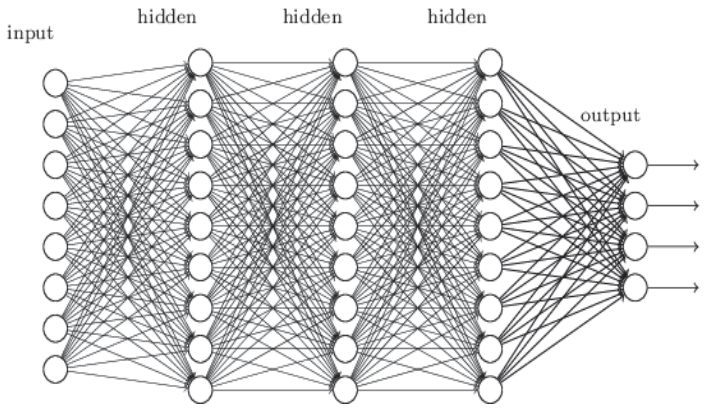


Fig. 12 Structura generala a sistemului integrat

CONTRIBUTII SI REZULTATE ORIGINALE

Contributiile originale aduse prin **aceasta teza raspunde unor nevoi reale evidentiate de analiza unui depozit farmaceutic din Bucuresti**. O parte din solutiile gasite au fost deja implementate, ducand la o imbunatire a procesului industrial. Stagiul doctoral a acoperit etapele de analiza, cercetare, proiectare si mai ales etapa de dezvoltare.

Subiectul tezei apartine unei teme multidisciplinare, in care elementele de Inginerie Electrica sunt integrate intr-un sistem extrem de complex (tehnic si informatic), ce necesita o modelare adecvata descompunerii sistemului integrat de distributie farmaceutica in subsisteme interconectate.

Pentru analiza concreta a contributiei si aplicabilitatii studiului prezentat, vom face o analiza directa asupra aspectelor practice care au fost urmarite atat in etapa de analiza, cercetare, proiectare cat mai ales in etapa de dezvoltare experimentala.

Concret, prin decizia de implementare a experimentului intr-un mediu real de executie/productie – si anume un depozit farmaceutic - a fost iterat un proces real de analiza si implicit au fost stabilite un numar semnificativ de deficiente in sistemul industrial de management al comenzii de la emitere si pana la expediere (enumerate in descrierea pe larg a experimentului):

1. **Nevoia/Lipsa capacitatii de analiza a impactului interventiei operatorului uman in banda industriala** - lipsa unei corelatii intre operatorul care proceseaza comanda si tota de procesat ingreunand urmarirea aparitiei unor erori pe parcursul procesarii;

2. **Nevoia/Lipsa capabilitatii de validare a verificarilor primare realizate in banda industriala** -

existenta unei singure metode de verificare a integritatii unei comenzi procesate (metoda cantaririi);

3. **Nevoia/Lipsa unei metode auto-adaptive de estimare predictiva a proceselor industriale** - existenta unei singure metode de urmarire a totei pe parcursul benzii prin cod de bare (supus deteriorarii constante si cateodata accelerate) si cititor optic (care se defecteaza).

Abordarea cercetarii pentru a studia functionarea unui depozit farmaceutic nu se poate face pur analitic, fara a obtine intelegerea intregului sistem. In primul rand exista preocuparea fata de comportamentul unui sistem foarte complex. In al doilea rand feedback-ul din cadrul sistemelor este un element esential pentru intelegerea comportamentelor lor. In modelarea dinamica a sistemului, o paradigma holistica de control trebuie sa organizeze metode stiintifice, dar poate, de asemenea, utiliza rezultatele cercetarilor analitice pentru a defini relatiile statice dintre variabile intr-o procedura de modelare care permite simularea dinamicii sistemului in studiu.

Avansul progresiv fata de starea actuala a sistemelor industriale care deservesc depozitele farmaceutice a fost realizat pe baza urmatoarei strategii:

A. **Managementul holistic al proceselor industriale,** permitind astfel aplicarea multiplelor paradigme moderne, precum utilizarea bazelor de date semantice si managementul bazat pe cunoastere.

B. Combinarea stadiului actual al tehnologiei in domeniul **iWSN cu metode avansate de optimizare industriala bazate pe Inteligenta Artificiala.**

C. I**mplementarea unor solutii tehnice care sa rezolve deficientele sistemelor actuale**, deficiente mentionate anterior.

D. **Introducerea algoritmilor auto-evolutivi**, in particular prin optimizarea si implementarea retelelor neurale adanci convolutionale in cadrul arhitecturilor sistemelor industriale si al managementului proceselor industriale.

E. Cercetarea si dezvoltarea unei **infrastructuri de procesare masiva paralela** care sa permita asigurarea asistentei in timp real de catre agentii de Inteligenta Artificiala.

Obiectivele cuantificabile si rezultatele originale obtinute pot fi descrise astfel:

1. ***Cercetarea originala a unui sistem industrial autoevolutiv de culegere si reaprovizionare pentru entitati automatizate si semi-automatizate, care aduce o noua abordare in managementul depozitelor engros, bazata pe semantica auto- evolutiva cu adaptarea permanenta la mediul in continua schimbare.***

Aplicabilitatea practica este imediata in cazul depozitelor farmaceutice complexe, care prezinta caracteristici speciale: trasabilitate produse, data expirare, livrare in regim de urgenta, standarde de distributie internationale, volume mari pe foarte multe produse distincte.

Acest studiu doreste sa schimbe modul de programare a sistemelor de automatizare a depozitelor, iar prin acest lucru devine important in toate depozitele mari, acolo unde se pune accentul pe optimizarea costurilor de-a lungul intregului lant valoric. Automatizarea industriala necesita o abordare holistica pentru a face fata in viitor acestor provocari, iar aceasta cercetare este un pas important in atingerea acestui obiectiv. Premiza holistica considera ca exista o posibila diferenta calitativa intre intregul sistem si partile sale. Modularizarea sau abordarea analitica poate esua, astfel ca abordarea holistica va asigura cea mai mare apropiere de procesul industrial real. Aceasta abordare holistica a optimizarii

depozitelor farmaceutice complexe si rezultatul acestei cercetari vor crea modele si concepte inovative si originale.

In procesul automat de management al depozitelor, datorita faptului ca fluxul de marfuri este in continua schimbare la fiecare comanda a clientilor corelata cu schimbarile in mediul intern si extern, poate creste timpii necesari preluarii, ambalarii si pregatirii livrarii, iar spatiul de marfa in depozit poate deveni necorespunzator si va trebui relocat pentru a imbunatati eficienta managementului de marfa si pentru a reduce costurile de management al stocarii.

<u>Rezultatul original</u> este sistemul experimental functional in baza caruia s-a generat experimentul de automatizare predictiva prezentat capitolul 4 al tezei.

2. ***Studiul comparativ asupra unei game extinse de senzori (magnetici si optici) in scopul determinarii acelora care pot furniza sistemului valori corecte ale factorilor critici in functionarea liniei de culegere a unui depozit farmaceutic.*** Automatizarea activitatilor tine cont de standardele internationale (GDP/GMP – Good Distribution/Manufacturing Practice) specifice industriei farmaceutice, unde trasabilitatea produselor reprezinta o cerinta critica a sistemelor.

In urma acestui studiu s-a propus utilizarea unui retele duale de senzori (magnetici si optici) care sa permita monitorizarea si conducerea in timp real a depozitului farmaceutic, ceea ce reduce semnificativ erorile datorate parametrilor de intrare, permitand sistemului adaptarea rapida la situatii de exceptie care pot apare in procesul de culegere a medicamentelor.

Pentru asigurarea validarii continutului totei, in special in cazul produselor foarte scumpe, se vor utiliza etichete magnetice din aliaje nanocristaline/amorfe, bogate in Co, in configuratie de straturi subtiri, care determina un raspuns extrem de precis asupra prezentei in tota a produselor verificate astfel, eroarea masuratorilor fiind sub 0.01%. Un alt rol al acestor etichete este protejarea unitatii impotriva sustragerii neautorizate de medicamente, o regula esentiala in autorizarea conform standardelor internationale de buna practica.

<u>Rezultatul original</u> consta in analiza, dezvoltarea si testarea experimentala a retelei duale de senzori propusa in capitolul 4. Pentru etichetele magnetice s-au studiat cateva materiale magnetice in straturi subtiri, care s-au dovedit fiabile in mediul industrial farmaceutic si care asigura identificarea pozitiei totei in punctele de control. Introducerea senzorilor si etichetelor magnetice a dus la reducerea semnificativa a erorilor, asigurand o mai buna reactie in timp real a sistemului la factorii perturbatori.

3. ***Crearea unui studiu de fezabilitate pentru Mediplus Exim in vederea implementarii unei arhitecturi complexe de senzori si traductoare conectate printr-o retea de tip „fog computing”, cu capabilitati de tip big-data, cu analiza predictiva bazata pe modele avansate de inteligenta artificiala si care combina ultimele inovatii aplicate in acest domeniu.***

Pentru cazul particular al procesului industrial de culegere farmaceutic (depozitare, etc.),aplicabilitatea „fog computing”-ului se refera la propunerea utilizarii unor senzori wireless inteligenti ce contin capabilitati proprii de stocare si procesare a informatiei. Acesti senzori "node" au capabilitatea de a prelua o parte considerabila din necesarul computational al intregului sistem si devin astfel nod de achizitie si nod de calcul "fog computing". Pentru centralizarea si procesarea automatizata a informatiilor se foloseste un mediu de tip „cloud computing” bazat pe resurse din Microsoft Azure.

Senzorii testati si amplasati in spatiu au capabilitati interne de rutare a comunicatiilor, devenind la randul lor routere daca nevoia o impune (unul dintre dispozitive nu se afla in raza unui router, dar este

totusi in proximitatea altui dispozitiv care la randul sau este sub incidenta unui alt router).

<u>Rezultatul original</u> consta in proiectarea unei retele iWSN, pentru distribuitorul Mediplus Exim, care sa permita preluarea semnalului din orice punct continut in interiorul depozitului. Aceasta configuratie (retea mesh) are o rata de eroare scazuta comparativ cu o topologie clasica de tip stea (cu un singur router si senzori fara capabilitati de rutare). Raza de acoperire este extinsa ceea ce ofera mai mule cai de comunicare a informatiilor acumulate (redundanta sporita).

4. ***Elaborarea unui model de inteligenta artificiala bazata pe „deep learning" si retele de senzori pentru managementul planificarii si logisticii industriale, conform caracteristicilor specifice unui depozit pentru distributia de medicamente.***

A fost fundamentata o abordare arhitecturala inovativa pentru algoritmii autoevolutivi (genetici) bazata pe biblioteci de cunostinte semantice. Rezultatul s-a prezentat printr-un raport architectural care are drept scop descrierea completa, utilizand abordarea modelarii pe obiecte [3], a metodologiei propusa pentru algoritmii auto-evolutivi (genetici). Noi algoritmi evolutivi vor crea o noua baza pentru dezvoltarea unei noi generatii de sisteme si procese de automatizare a depozitelor.

O atentie speciala s-a acordat clasei de algoritmi auto-evolutivi care guverneaza culegerea produselor. S-a elaborat un model de simulare a functionarii bazate pe o retea neurala adanca si s-a realizat modelarea elementelor si proceselor unui depozit farmaceutic. In acest cadru s-au prezentat conceptele care stau la baza dezvoltarii aplicatiilor software ce vor controla activitatile din depozit, dar si metodele utilizate de catre algoritmul auto-evolutiv industrial de culegere [4] [5].

S-a elaborat un software inovativ, care pune in practica metodele algoritmilor industriali auto-evolutivi de serializare si culegere. Aceeasi abordare a fost folosita si in cazul procesului de reaprovizionare a depozitului farmaceutic.

<u>Rezultatul original</u> consta in software-ul de retele neuronale elaborat, prezentat in Anexa 2. Remarcam rata de predictie de peste 90% a sistemului propus in conditiile de asumare a unei tolerante de maxim 5-10%.

5. ***Elaborarea unui algoritm de volumetrie, integrat in sistemul ERP/WMS, care asigura distributia optima a totelor in statiile de incarcare cu produse farmaceutice,*** asigurand astfel un flux continuu de lucru pe banda transportoare si care, in corelatie cu informatiile furnizate de reteaua predictiva, mareste productivitatea intregului sistem, asigurand o mai buna vizibilitate asupra timpului de livrare catre clienti si a volumului posibil de procesat intr-o unitate de timp dat.

<u>Rezultatul original</u> consta in modulul software integrat in sistemul general de management al depozitului, inserandu-se modificarile aduse de prezenta senzorilor magnetici si a etichetelor magnetice in straturi subtiri, elemente ce imbunatatesc gestiunea miscarii si incarcarii totelor, inclusiv in conditii de avarie (absenta unei etichete). Experimentele prezentate in capitolul 4 demonstreaza fiabilitatea si eficienta solutiei propuse.

6. ***Identificarea directiilor de extindere a cercetarilor si a ariei de aplicabilitate, tinand cont de existenta similaritatilor cu orice alte depozite automatizate.*** Ceea ce deosebeste studiul prezentat de alte abordari similare sunt cerintele specifice business-ului farmaceutic: culegerea produselor in functie de data expirarii, trasabilitatea pe loturi de productie, serializarea produselor (cod bare pe unitatea livrata, conform directivelor europene).

Rezultatele originale obtinute precum si tehnologiile utilizate demonstreaza imbunatatiri incrementale si inovative in mai multe domenii.

Sistemul propus permite serializarea articolelor unice, a pachetelor, a cutiilor si a paletilor, de-a lungul procesului de culegere a produselor. Cu trasabilitatea asigurata pentru fiecare element, transparenta intregului proces ofera o securitate ridicata, necesara pentru distributia produselor farmaceutice. Sistemul ofera monitorizarea produselor pana la vanzarea pe canalele de distributie definite si sa respecte conformitatea cu reglementarile legale europene si/sau specifice tarii.

Sistemul propus asigura distribuirea unei game largi de produse farmaceutice de valoare ridicata si prezinta provocari speciale. Asteptarile foarte mari ale clientilor (farmacii, spitale s.a.) in ceea ce priveste timpul si calitatea livrarii pun o presiune ridicata asupra functionarii depozitului. Un sistem de distributie fiabil catre clienti si adaptarea la cerintele de reglementare stricte sunt esentiale. Procesele din depozite trebuie optimizate in mod continuu.

Aceasta activitate complexa si in continua schimbare a fost semnificativ imbunatatita prin **implementarea unor sisteme si procese de automatizare auto-evolutive atat in sistemul de control al depozitului, cat si in cel de management**. Prezenta cercetare avanseaza un model cu mai multe obiective, utilizand semantica auto- evolutiva, bazata pe algoritmi evolutivi pentru a rezolva modelul determinat de caracteristicile depozitelor de produse farmaceutice si de caracteristicile depozitelor automatizate. Se va imbunatati astfel eficienta miscarii produselor farmaceutice in depozit dar si din depozit catre clienti, a stocarii produselor si a scaderii timpului de transport si a costului miscarii produselor.

Prin **crearea unui model de simulare a depozitului farmaceutic**, bazat pe agenti, am urmarit evolutia proceselor de selectare si procesare a comenzilor care sa stea la baza programarii tuturor resurselor necesare desfasurarii activitatii de culegere a produselor (resurse umane, echipamente, design depozit). Operatiunile de selectie a comenzilor consuma adeseori o mare parte a totalului activitatilor de munca dintr-un depozit (chiar si 60% [19]), iar pentru un depozit normal, selectia comenzilor poate reprezenta 55% din totalul costurilor de functionare. Acesta este unul din cele mai importante obiective atunci cand se incearca scaderea costurilor operationale si reducerea resurselor umane din depozite.

Rezultatele preliminare obtinute pot avea un impact deosebit, deoarece prin utilizarea semanticii auto- evolutive, bazata pe algoritmi evolutivi, **se poate atinge o optimizare totala a costurilor mai mare de 20%**, prin optimizarea fluxurilor, reducerea timpului, cresterea vitezei operatiunilor si evitarea intarzierilor.

IMPACT PROGNOZAT

Rezultatul studiului din aceasta teza consta in crearea unui model cu multiple obiective, utilizand semantica auto-evolutiva, bazat pe algoritmi evolutivi/genetici si crearea unui model-concept, care poate fi utilizat mai departe pentru a crea un sistem expert pentru depozite, in viitorul apropiat. Exista multe oportunitati de piata si un **sistem expert pentru gestionarea depozitelor farmaceutice** are un potential comercial real, deoarece **poate optimiza costurile totale cu mai mult de 20%**, prin optimizarea fluxurilor, reducerea timpului de procesare, cresterea vitezei operatiunilor si evitarea intarzierilor.

Acest sistem de depozit farmaceutic asigura distributia unei game largi de produse farmaceutice de mare valoare si prezinta provocari speciale. Asteptarile foarte ridicate ale clientilor cu privire la timpul de livrare si calitate pun o presiune mare pe functionarea depozitului. Imbunatatirile propuse se refera la fiabilitatea si viteza de distributie catre clienti dar si la respectarea cerintelor stricte de reglementare, cerinte care sunt vitale. Procesele din depozite trebuie optimizate in mod continuu, iar prin utilizarea rezultatelor prezentei cercetari, acest obiectiv poate fi atins permanent.

Acest studiu va crea si premizele pentru **dezvoltarea unui sistem integrat expert de management al**

depozitelor pentru a imbunatati sistemul actual de control al depozitelor, prin integrare cu sistemul ERP care gestioneaza, optimizeaza si eficientizeaza procesele interne de afaceri ale companiilor din industria de distributie si vanzare a produselor farmaceutice. **Este un sistem multi-modul special proiectat ce poate oferi suport tuturor sectoarelor de activitate ale unei companii** prin standardizarea proceselor de luare a deciziilor sau a celor productive si prin introducerea bunelor practici specifice sectorului farmaceutic retail sau angro si nu numai. Posibili parteneri pot fi cei mai puternici comercianti en-gros de pe piata farmaceutica, cei care acopera cel mai bine lantul (producator-angrosist-farmacii-clienti).

EXPERIMENTE EFECTUATE

Din punct de vedere al abordarii intregului experiment, s-a plecat de la functionarea in timp real a sistemului in mediul de productie. Configurarea experimentului a tinut cont atat de sistemul de baza de la care s-a plecat, sistem bazat pe functionare clasica, cat si de inovatiile propuse de prezentul studiu. Principalele elemente care au fost analizate sunt in stransa relatie cu scopul principal de utilizare a ansamblului propus magnetic-optic combinat cu inteligenta artificiala pentru detectia si implicit reducerea ratei erorilor in procesul de incarcare/procesare a comenzilor.

Astfel, datele analizate au provenit din urmatoarele surse:

1) senzori de operator de tip „beacon” pentru identificarea operatorului-culegator atat din punct de vedere spatial cat si temporal;
2) senzori optici de interogare a cutiei (totei) dispusi pe banda
3) senzori magnetici de interogoare a cutiei (totei) dispusi atat pe banda cat si in alte zone din spatiul industrial, in care se desfasoara procesul ciclic de incarcare a totei (pregatirea ordinului)

Din punct de vedere al metricii experimentului au fost analizate urmatoarele date, plecand de la datele primare si finalizand cu vizualizarea variatiei indicatorilor experimentului:

a) Datele de intrare generate de senzorii individuali (atat magnetici cat si optici, conform naturii duale a retelei de senzori propuse)
b) Datele de predictie generate de sistemul inovativ propus
c) Rezultatele primare obtinute in experiment (date reale vs. date previzionate)

Experimentul efectuat a fost compus din **doua sub-experimente** realizate pe doua structuri diferite de benzi industriale.

a) In primul sub-experiment s-au utilizat exclusiv senzorii optici si s-au introdus perturbari in functionarea benzii (va fi deteriorata eticheta cod-bare a totei).

b) In cel de-al doilea sub-experiment am utilizat aceeasi structura de banda industriala, in care s-au adaugat senzorii magnetici si implicit citirile efectuate de acestia, evident pastrand deteriorarea „imputata” asupra etichetei cod-bare la un anumit punct in proces.

Pentru a defini mai clar experimentul, vom prezenta in cele ce urmeaza structura tabelara-relationala a datelor procesate in cadrul sistemului inovativ utilizand o submultime a acestora cu scop de analiza experimentul efectuat.

Primul set de date analizat este cel generat de senzorii dispusi in procesul complet al benzii de depozit. Informatiile analizate se refera la:

ID: identificatorul masuratorii (observatiei)
SenzorID: identificatorul senzorului care a generat informatia de identificare a cart-ului urmarit
TipSenzor: Tipul de senzor utilizat – optic (O) sau magnetic (M) pentru respectivul segment de

bandaindustriala.
In exemplul de mai sus au fost utilizati doar senzorii de tip optic.
Time: amprenta de timp generata de senzor
TimeDelta: variatia de timp de la amprenta generata anterior de senzorul anterior din secventa de senzori (timpul de parcurgere al segmentului de banda industriala)
TotaID: identificatorul totei/cutiei
Culegator: culegatorul uman responsabil pentru cart-ul respectiv pe segmentul dat al benzii industriale

ID	SenzorID	TipSenzor	Time	TimeDelta	TotaID	Culegator
1	4393724	O	2016-02-10 07:33:28.363	0	32004210	4081
2	4393731	O	2016-02-10 07:34:29.657	01:01.294	32004210	9692
3	4393747	O	2016-02-10 07:36:48.987	02:19.330	32004210	9593

Fig. 13 Primul set de date - date furnizate de reteaua de senzori referitor la miscarea benzii transportoare

Din punct de vedere al interpretarii, primul setul de date analizat reprezinta verificarea totei in dreptul fiecarui senzor (optic sau magnetic) pentru un traseu prestabilit ce contine 15 senzori. Din punct de vedere al sistemului, nu sunt necesare alte informatii de la senzorii respectivi in afara de identificarea propriu-zisa a senzorului (SenzorID) si amprenta de timp generata de senzor la trecerea/identificarea totei. Se observa in acest punct **necesitatea utilizarii unei retele duale opto-magnetice de senzori**. Asa cum a fost discutat in sectiunea de arhitectura, tota contine atat identificatorul vizual (cod de bare) necesar senzorilor optici cat si tag-ul necesar senzorilor magnetici.

Al doilea set de date contine informatiile disponibile referitoare la continutul incarcat in tota, al carei traseu a fost parcurs anterior (conform primului set de date). Codificarea informatiilor asociate totei se refera la caracteristicile produselor:
pId: identificatorul produsului
L: lungimea produsului (cm) – necesara pentru calcularea volumului necesar/ocupat in cart
W: latimea produsului (cm) – necesara pentru calcularea volumului necesar/ocupat in cart
H: intaltimea produsului (cm) – necesara pentru calcularea volumului necesar/ocupat in cart
M: masa produsului – necesara pentru verificarea cu ajutorul senzorului de masa (cantar) a continutului unui cart
bQty: cantitatea unui bax
Qt: cantitatea necesara a fi incarcata in cart
Lot: lotul produsului
BL, BW, BH, BM: dimensiunile (lungime, latime, intaltime, masa) pentru baxul standard al produsului respectiv

Prin acest sistem cu dubla-verificare asiguram un grad maxim de toleranta a erorilor, de urmarire a totei in procesul industrial al incarcarii acesteia in banda de culegere. Practic, in situatia deteriorarii unui anumit tip de tag (codul de bare sau tag-ul RFID) utilizarea redundantei asigura ca urmarirea totei se face in conditii optime si implicit sistemul de predicitie si analiza a erorilor genereaza inferente cu un grad maxim de acuratete.

Scopul de baza al inovatiei propuse de prezentul studiu este inferenta (predictia) datelor din "setul 1” in baza datelor din "setul 2”, sau mai exact **prezicerea timpilor de trecere a totei**.

pId	L	W	H	M	bQty	Qt	Lot	BL	BW	BH	BM
4913	56	56	141	306.4	24	5	491101A2	370	250	160	7818
5167	62	54	116	229.2	60	5	FH1922	310	225	360	14022
18206	43	43	66	22.5	80	10	213133	350	220	145	1969
27843	67	54	186	251.12	36	5	F1610	420	340	200	9355

Fig. 13 Al doilea set de date, informatii asociate totei in baza unui ordin de culegere dat

Rezultatele sub-experimentului 1

Consideram patratul radacinii medii patratice ca fiind eroarea de referinta in analiza rezultatelor experimentului de predictie a datelor. Datele obtinute sunt prezentate sub forma tabelara si se refera in care avem urmatoarele informatii:

ID: identificatorul observatiei (acelasi cu cel din setul 1 de date)
SenzorID: identificatorul unic al senzorului care a generat observatie (acelasi cu cel din setul 1 de date)
Timp Prezis (s): timpul (cu 3 zecimale) prezis de catre sistem pentru parcurgerea respectivului segment al benzii industriale
Timp Real (s): timpul de parcurgere real (acelasi cu cel din setul 1 de date)
Eroare patratica: eroarea patratica dintre timpul prezis si timpul observat pe un anumit segment (pentru o anumita observatie)
Radacina erorii patratice: radacina patratului diferentei dintre timpul prezis si cel observant

ID	SenzorID	Timp Prezis (s)	Timp Real (s)	Eroare patratica (E)	Radacina erorii patratice (E_{RMSE})
1	4393724	0.000	0.000	0.0	0.000
2	4393731	63.746	61.294	6.0	2.452
3	4393747	147.690	139.330	69.9	8.360
4	4393761	78.013	76.483	2.3	1.530
5	4393767	16.927	16.927	0.0	0.000
6	4393788	95.756	88.663	50.3	7.093

Fig. 14 Comparatie intre timpii reali si cei predictati

ID	SenzorID	Timp Prezis (s)	Timp Real (s)	Eroare patratica	Radacina erorii patratice	Eroare accept. (10%)	Eroarea procen. a predictiei (E_p)	Predictie accept. (A)
1	4393724	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0%	1
2	4393731	63.746	61.294	6.0	2.452	6.129	4.0%	1
3	4393747	147.690	139.330	69.9	8.360	13.933	6.0%	1
4	4393761	78.013	76.483	2.3	1.530	7.648	2.0%	1
5	4393767	16.927	16.927	0.0	0.000	1.693	0.0%	1

Fig. 15 Analiza performantelor sistemului

Se obtine astfel eroarea medie: E_{RMSE} = 169.896 %

Interpretand aceste date primare, observam ca in majoritatea cazurilor observate radacina erorii

patratice se situaza **in plaja 0-20% din valoarea reala observata a timpului** de parcurgere a unui segment de banda industriala (timp generat de reteaua de senzori pentru tronsonul respectiv). In consecinta vom considera **eroarea acceptabila sub 10%**:

$E_T = Y * 0.1$; $E_T = 48.753$

Rezultatele obtinute sunt prezentate in tabelul 4.5, in care s-au inclus:

- **Valoarea erorii acceptabile** (E_T): reprezentata de 10% din valoarea timpului observat pentru un anumit segment al benzii industrial
- **Eroarea procentuala a predictiei** (E_p): reprezentata de raportul dintre radacina erorii patratice si valoarea observata a timpului segmentului respectiv:
- **Indicatorul de acceptare a predictiei A**: este predictia acceptabila , si este variabila-indicator care constituie elementul final de evaluare a sistemului propus. Valoarea booleana {0,1} a indicatorului este **cea mai directa metoda de masurare a validitatii predictiei obtinute, pentru timpii de parcurgere a totei pentru fiecare dintre segmentele benzii industriale.**

Plecand de la rezultatele prezentate am continuat analiza cu ajutorul unei serii de indicatori definiti dupa cum urmeaza: T=Numarul de observatii cu E:SE T = 12
F=Numarul de observatii cu E2:E T = 3
TR =T/(T+F)=12/(12+3)=0.8=80% (acuratetea sistemului)

Dupa cum se observa, s-a obtinut o rata de predictie corecta de 80% in conditiile in care, pentru 20% din cazurile observate in seturile de date analizate, am avut o eroare procentuala (radacina erorii medii patratice) de aproximativ 14.0%, adica cu 4.0% peste pragul acceptat de 10%.

In situatia in care crestem toleranta pragului erorii acceptate E_T de la 10% la 15% vom obtine o acuratete T_R = 100%, conform analizei de performanta a sistemului.
E_T=Y*0.15
E_T=73.12

ID	SenzorID	Timp Prezis (s)	Timp Real (s)	Eroare patratica	Radacina erorii patratice	Eroare accept. (10%)	Eroarea procen. a predictiei (E_p)	Predictie accept. (A)
1	4393724	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0%	1
2	4393731	63.746	61.294	6.0	2.452	9.194	4.0%	1
3	4393747	147.690	139.330	69.9	8.360	20.899	6.0%	1
4	4393761	78.013	76.483	2.3	1.530	11.472	2.0%	1
5	4393767	16.927	16.927	0.0	0.000	2.539	0.0%	1

Fig. 16 Consecintele cresterii pragului de toleranta a erorii de la 10% la 15%

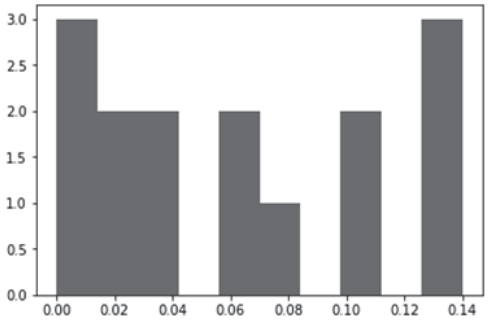


Fig. 17 Histograma erorilor E_p

Principalul element analizat este histograma “increderii” sistemului inovativ produs, realizata din valorile observate ale erorii procentuale ale predictiei (deviatia simpla de la valoarea observata) E_p. Dupa cum se observa din histograma prezentata in Fig. 17, sistemul propus genereaza o distributie acceptabila a erorilor de predictive cu o cantitate considerabila de inferente in zona 0%-5%.

Asa cum am spus la inceputul descrierii sub-experimentului 1, am introdus o eroare concreta prin deteriorarea voita a etichetei cod-bare a totei si analiza functionarii sistemului. Astfel, masuratorile intiale impreuna cu prezicerile vor fi cele prezentate in fig. 18. Am ales sa deterioram partial eticheta cu cod-bare a totei in fluxul benzii industrial, dupa citirea efectuata de senzorul optic 4393795 (observatia nr. 7).

Dupa cum se observa, citirile efectuate la observatiile 8-15 nu vor genera informatii iar predictia acceptabila pentru toate aceste citiri va fi nula. Plecand de la premiza analizei erorii procentuale acceptabile in plaja propusa de maxim 10%-15% vom obtine erori de peste 100% iar sistemul va intra implicit in mod de alerta chiar dupa prima citire in banda efectuata de senzorul optic nr 8 (4393805).

ID	SenzorID	Timp Prezis (s)	Timp Real (s)	Eroare patratica	Radacina erorii patratice	Eroare acceptabila	Eroarea procentuala a predictiei	Predictie accept.
5	4393767	16.927	16.927	0	0	1.693	0.00%	1
6	4393788	95.756	88.663	50.3	7.093	8.866	8.00%	1
7	4393795	96.714	84.837	141.1	11.877	8.484	14.00%	0
8	4393805	69.26	0	4797	69.26	0	6926.00%	0
9	4393809	26.419	0	698	26.419	0	2641.90%	0
10	4393871	490.83	0	240914.1	490.83	0	49083.00%	0
11	4393920	337.552	0	113941.1	337.552	0	33755.20%	0

Fig. 18 Rezultate afectate de deterioararea etichetei cod-bare

Rezultatele sub-experimentului 2

In sub-experimentul 1, dupa introducerea deteriorarii etichetei in procesul de parcurgere a benzii industrial, sistemul inteligent propus a detectat eroarea (eroarea procentuala a citirii 8 a fost de 6926% !) si a avertizat operatorul uman.

Desi procesul a fost blocat pana la remedierea acestei probleme, nu aceasta este solutia optima. Asa

cum a fost prezentat in capitolele anterioare, **solutia optima este eficientizarea intregului proces si minimizarea riscurilor de blocaj prin dublarea senzorilor optici destinati totelor cu senzori magnetici.**

Trecand de la exemplul de mai sus, cu 15 observatii si respectiv 15 predictii, la **analiza unui volum mare de date**, am analizat evolutia intregului experiment si comportamentul erorii E_{RMSE}. Foarte importanta este precizarea ca in acest sub- experiment 2 am **adaugat pe langa senzorii optici (marcati cu "O" in observatiile noastre) si senzorii magnetici propusi in arhitectura experimentului (marcati cu "M" in observatiile noastre)**. Rezultatele obtinute sunt prezentate in Fig. 19.

ID	SenzorID	Tip	Time	Timp Prezis	Time Delta	Eroare patr.	Radacina erorii patratice	Eroare accept.	Eroarea proc. a predict.	Predictie accept.
1	4881554	M	2016-05-10 09:21:46	0.00	0.00	0.0	0.000	0.000	0.0%	1
2	4881558	O	2016-05-10 09:22:20	31.02	33.71	7.3	2.697	3.371	8.0%	1
3	4881559	M	2016-05-10 09:22:31	12.46	11.54	0.9	0.923	1.154	8.0%	1
4	4881562	O	2016-05-10 09:24:17	99.03	105.35	40.0	6.321	10.535	6.0%	1
5	4881563	O	2016-05-10 09:24:34	16.11	17.51	2.0	1.401	1.751	8.0%	1

Fig. 19 Rezultate obtinute cu sistemul dual de senzori optici (O) si magnetici (M)

Dupa cum se poate observa din fig. 19, **sistemul inovativ propus a avut pentru acest experiment cu 122 de observatii (masuratori realizate de senzori) o acuratete medie de 88.52%.**

Urmatorul pas logic in sub-experimentul 2 este evident **deteriorarea etichetei cu cod-bare (incepand cu traseul totei intre punctele 15 si 16 de pe banda industriala) si am lasat sistemul sa se auto-adapteze prin utilizarea retelei duale magneto-optice**. Astfel, datele primare culese de catre sistem si prezise initial sunt prezentate in fig. 20, cu ob servatia ca, pentru reducerea volumului de date prezentate, vom analiza doar observatiile 13-31.

ID	SenzorID	Tip Senzor		Time	Timp Prezis	Time Delta	Eroare patrat.	Radacina erorii patratice	Eroare accept.	Eroarea proc. a predictiei	Predictie accept.
13	4881606	10457	O	2016-05-10 09:35:26	25.49	24.05	2.1	1.443	2.405	6.0%	1
14	4881619	2225	M	2016-05-10 09:37:21	116.98	114.68	5.3	2.294	11.468	2.0%	1
15	4881628	10457	O	2016-05-10 09:39:32	123.93	131.84	62.6	7.911	13.184	6.0%	0
16	4881631	7383	O	2016-05-10 09:40:39	61.12	0.00	3735.1	61.116	0.000	6111.6%	0
29	4881685	7487	O	2016-05-10 10:05:00	0.00	0.00	0.0	0.000	0.000	0.0%	1
30	4881688	13160	O	2016-05-10 10:06:13	0.00	0.00	0.0	0.000	0.000	0.0%	1
31	4881690	7421	M	2016-05-10 10:07:54	254.26	244.48	95.6	9.779	24.448	4.0%	1

Fig. 20 Rezultate obtinute cu sistem dual de senzori (O-M) si eticheta cod-bare deteriorata

Test	Numar de observatii	Eroare procentuala de inferenta (A)
1	15	80%
2	100	81%
3	150	82%
4	200	83%
5	300	84%
6	500	85%
7	1000	87%
8	1500	89%
9	5000	90%
10	6000	90%
11	10000	91%
12	50000	92%
13	100000	92%
14	250000	93%
15	500000	93%
16	1500000	93%

Fig. 21 Variatia in timp a acuratetii sistemului

Dupa cum se observa din liniile aferente observatiilor 16 si 19, generate de doua citiri aproximativ succesive realizate cu senzorii optici, eroarea procentuala a predictiei depaseste cu mult 100%. **In acest caz, sistemul, incepand cu masuratoarea 20, va utiliza exclusiv senzorii magnetici si nu va lua in considerare citirile optice**. Astfel, in final sistemul va functiona fara intreruperi si atingand aproximativ aceeasi rata de predictie a urmaririi procesului chiar si in situatia defectarii/deteriorarii etichetei de cod-bare. In cazul de fata, **scaderea totala a procentului de acuratete este de mai putin de 1% de la 88.52% la 87.70%.**

Concluzii referitoare la scalabilitatea sistemului propus

In urma celor doua sub-experimente, variatia in timp a acuratetii sistemului, data de eroarea *E*, in functie de volumul de date pe care sistemul l-a procesat, este conform tabelului 4.10. Reprezentarea grafica din Fig. 22, in scara liniara sau logaritmica, evidentiaza fenomenul asteptat - **o data cu trecerea timpului si observarea unui cantitati tot mai mari de date, eroarea procentuala de inferenta *A* scade din ce in ce mai mult iar intervalul de incredere se ingusteaza**.

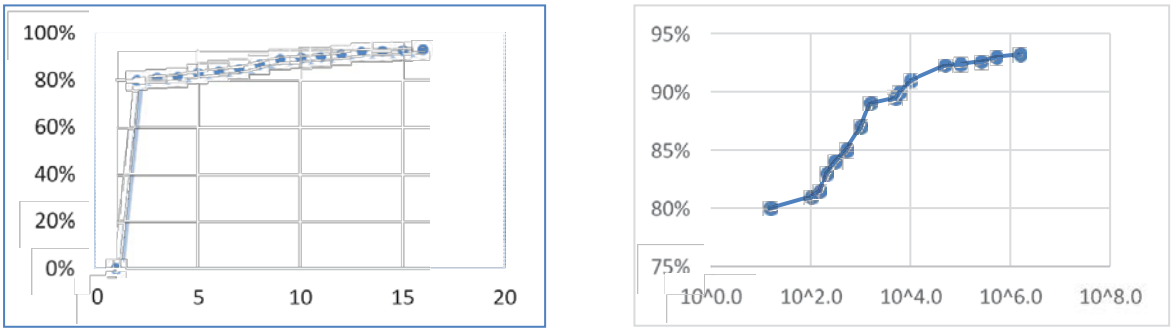


Fig. 22 Evolutia acuratetii in functie de numarul de observatii procesate, utilizand scara liniara (stanga) sau logaritmica (dreapta).

Dupa cum se observa, eroarea procentuala de inferenta (*A*) are o evolutie asimptotica catre o valoarea maxima aproximativ de 94% a erorii procentuale de inferenta**. Sistemul ajunge la o eficienta optima in momentul in care parcurge un numar de minim 10^4 observatii generate de reteaua duala de senzori din banda industriala**. Ulterior acestui set de date analizate (10^4 - 10^5) sistemul se stabilizeaza intr-o zona cu imbunatatiri relativ mici.

Experimentul a dovedit ca imbunatatirile aduse contribuie decisiv la autoadaptarea continua a sistemului la factori neprevazuti sau "rari" ce apar in cadrul procesului industrial.

PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARA

Teza contine elementele necesare dezvoltarii ulterioare pe patru directii, cu grad de inovare maxima (pana la acest moment nu stim de existenta unor produse similare in piata):

1. **Introducerea unui nou element de optimizare a procesului industrial prin verificarea vizuala/optica a continutului totelor.**

Aceasta directie este una practica, cu aplicabilitate imediata industriala in zona depozitarii industriale si a managementului automatizat al depozitelor. In cazul optimizarii procesului prin recunoastere si verificare vizuala, avem de- a face cu introducerea unui nou ansamblu in sistemul propus. Acest nou subsistem are urmatoarele componente si functionalitati:

- Subsistemul contine o camera de luat vederi industriala amplasata deasupra benzii industriale, camera ce (in anumite puncte de control) fotografiaza continutul totelor si trimite imaginile spre analiza in timp real.

- a doua componenta a subsistemului este un dispozitiv incorporat de calcul paralel pentru medii industriale (spre exemplu NVidia Jetson NX1, NX2) care analizeaza in timp real imaginea transmisa de camera industriala si decide asupra conformitatii continutului totei fata de comanda asociata acesteia.

- Pentru eficientizarea procesului, acest subsistem este conectat si coordonat de sistemul principal propus de lucrarea de fata si demonstrat in capitolul 4.

- Sistemul de predictie a timpilor de executie/incarcare a totelor va semnala subsistemului de verificare prin recunoastere vizuala situatia in care o tota nu a parcurs traseul in timpul previzionat, inlocuind astfel un operator uman care ar fi in mod normal obligat sa verifice potentiale "alarme" generate de sistemul predictiv.

2. **Realizarea unui dispozitiv electronic cu retea neurala incorporata.**

Se intentioneaza proiectarea unui dispozitiv electronic care sa incorporeze o structura de tip retea neurala artificiala codata la nivelul circuitelor logice electronice. Ideea unui circuit incorporat de retea neurala ("*circuit embedded artificial neural network*") este un concept care la ora actuala implica activitati de cercetare – dezvoltare si are aplicabilitate la nivelul dispozitivelor electronice de tip "*consumator*", fiind utilizat in forme de baza simpliste in aplicatii ca recunoasterea numarului de inmatriculare ("*automatic name plate recognition*") si alte aplicatii similare de recunoastere vizuala. Aceste aplicatii utilizeaza modele simpliste de retele neurale total conectate, fara a aplica in proiectarea circuitului electronic modele bazate pe stadiul actual al cercetarii si tehnologiei – si anume, retele neurale convolutionale.

Aceasta posibila extindere se bazeaza pe ideea de proiectare a unui circuit electronic care sa inglobeze structura unei retele neurale convolutionale pre-antrenate aprioric intr-un mediu experimental. Dispozitivul astfel proiectat va fi capabil sa genereze inferente bazandu-se pe diverse structuri configurabile de semnale electrice de intrare. Evident este urmarita si ideea de auto-imbunatatire a acestui dispozitiv (generic in cazul nostru) prin adaugara unei memorii "*flash*" in care sa se poata stoca coeficientii modelului autoevolutiv al circuitului incorporat. Ca implementare hardware, se poate merge catre un SoC (System on Chip) care sa inglobeze un procesor pentru sistemul de operare si manipularea datelor brute si o structura FPGA (Field Programable Gate Array) pentru modelul retelei neurale, rezultand astfel accelerarea procesarii informatiilor si reducerea latentelor de procesare.

3. **Implementarea algoritmilor predictivi pentru automatizarea proceselor de prognoza si reaprovizionare,** in corelatie permanenta cu stocurile necesare livrarii continue a comenzilor clientilor (farmacii, spitale, clinici medicale) si coroborat cu timpii estimati de livrare asumati de catre producatorii de medicamente.

4. **Proiectarea unui ansamblu senzor-actuator inteligent, cu modele de invatare automatizata, bazat pe conceptul dispozitivelor electronice cu retele neurale incorporate.**

Nodurile de tip senzor inteligent din retelele moderne de senzori-traductori-actuatori industriali realizeaza de obicei operatii simple de culegere, stocare temporara, ponderare si transmitere a informatiilor telemetrice. Desi aceste noduri se incadreaza in categoria sistemelor de tip „fog computing", capacitatea acestora de „a gandi" si implicarea in procesul de luare efectiva a deciziilor este extrem de limitata. Prin dezvoltarea unui prototip de senzor care sa includa in componenta sa elementul retelei neurale adanci (convolutionala) incorporata electronic, acest senzor devine cu adevarat inteligent obtinand astfel capacitatea de a lua decizii complexe si de a se auto-adapta, atat la nivel individual, cat si la nivelul intregii infrastructuri a retelei de senzori [13].

Senzorul inteligent propus va trebui sa fie capabil sa se auto-adapteze si sa isi automodeleze ponderile coeficientilor din infrastructura sa neurala electronica (prin utilizarea memoriei Flash) si sa transmita catre nodurile vecine din reteaua de senzori (iWSN) modificarile realizate in structura sa incorporata a propriei retele neurale convolutionale (CNN).

Considerand stadiul tehnologic actual in materie de putere de procesare pentru dispozitive mobile (invers proportional cu puterea electrica necesara pentru a realiza aceste calcule) se poate studia integrarea unui modul NVIDIA Jetson TX2, impreuna cu circuitele caracteristice senzorului clasic vizat, pentru a adauga acestuia capabilitatea retelei neurale si a componentei decizionale, fara a sacrifica considerabil autonomia acestui dispozitiv, fata de unul clasic, fara nicio putere de procesare.
Caracteristicile ce il recomanda pentru aceasta aplicatie sunt expuse mai jos:

- GPU NVIDIA Pascal, 256 CUDA core-uri
- CPU cu 6 nuclee, 2 in arhitectura Denver, 4 in arhitectura ARM A57
- 8GB memorie RAM DDR4
- suporta interfatarea unui numar de maxim 6 camere video si 4 ecrane
- 32GB spatiu de stocare
- Conectivitate WiFi, Bluetooth, dar si CAN, UART, SPI pentru senzori.

Bibliografie

[1] *K. Martinez, P. J. Basford, D. De Jager, and J. K. Hart*, "A wireless sensor network system deployment for detecting stick slip motion in glaciers", in Proc. IET International Conference on Wireless Sensor Systems (WSS 2012), London, UK, 2012, pp. 1–3.

[2] *H. Gavrila, H.Chiriac, V. Ionita, P. Ciureanu, and A. Yelon*, Magnetism tehnic si aplicat, Bucuresti, Romania: Edit. Academiei, 2000, pp. 261-275, 284-285, 826.

[3] ***B. Dumitresc****u, A. D. Ionita, H. Gavrila*, "Picking Lines Modeling", Revue Roumaine des Sciences Techniques. Serie Électrotechnique et Énergétique, vol. 61, no. 1, pg. 78-83, 2016.

[4] *I. Felea, C. Panea, and G. Bendea*, "Stochastic Evaluation of the Reliability of the Geothermal Energy Exploitation Systems", Revue Roumaine des Sciences Techniques – Série Electrotechnique et Energétique, vol. 59, no.2, pp. 141-151, 2014.

[5] *D. D. Eisenstein*, "Analysis and Optimal Design of Discrete Order Picking Technologies Along a Line", Naval Research Logistics, vol. 55, issue 4, pp. 350–362, Jun. 2008.

[6] *A. D. Ionita and A. Olteanu*, "Support Students' Experimental Work in Electrical Engineering with Visual Modeling", Revue Roumaine des Sciences Techniques – Série Electrotechnique et Energétique, vol. 59, no. 1, pp. 107-116, 2014.

[7] Proximity sensors SMT/SME-8, for T-slot, FESTO, 2010, pp. 14-15, 38-40 [online]. Available: http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/285875/SMx8_en.pdf-26.02.2010-%208-46- 07.pdf.

[8] *J Åkerberg, M Gidlund and M Björkman*, "Future research challenges in wireless sensor and actuator networks targeting industrial automation", in Proc. 2011 9th IEEE International Conference Industrial Informatics (INDIN), Lisbon, Portugal, 2011, pg. 410-415.

[9] *B. Prabhu, E. Gajendran and N. Balakumar*, "Monitoring Atmospheric Conditions Using Distributed Sensors", International Journal of Innovative Research in Technology, vol. 2, pp. 108 – 120, 2016.

[10] *V. Vinuraja, L. Sangavi, S. Sowndharya, V. Priya and L. Saranya*, "Industrial Monitoring System Using Wireless Sensor Networks", Asian Journal of Applied Science and Technology, vol. 1, issue 2, pp.141-143, 2017.

[11] *Z. Zhao, J. Fang, G. Huang, M. Zhang*, "iBeacon enabled indoor positioning for warehouse management", in Proc. 4th International Symposium on Computational and Business Intelligence (ISCBI), Olten, Switzerland, 2016, pp. 21-26.

[12] *J. Joshi, A. Bhargava, U. Kurulkar and J. Reddy*, "RFID sensor network based pervasive computing", Proc. Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Vienna, Austria, 2016, pp. 277-282.

[13] *A.G. Finogeev, D.S. Parygin and A.A. Finogeev*, "The convergence computing model for big sensor data mining and knowledge discovery", Human-Centric Computing and Information Sciences, vol. 7, no. 11, 2017 [online] Available: https://link.springer.com/article/10.1186/s13673-017-0092-7.

[14] *P.Ciureanu and H. Gavrila*, Magnetic Heads for Digital Recording, Amsterdam, Oxford, New-York, Tokio: ELSEVIER, 1990, pp 47-52.

[15] *S. Ciureanu,* ***B. Dumitrescu*** *and H. Gavrila*, "Comparative study of electrodeposited nanocrystalline and amorphous co-rich alloys for recording heads", in Proc. Int. Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering, ISFEE 2015, Bucharest, Romania, 2015, pp. 2-4.

[16] *S. A. Ciureanu,* ***B. Dumitrescu*** *and H. Gavrila*, "The structure constant in the nanomagnetism", in Proc. Int. Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering, ISFEE 2014, Bucharest, Romania, 2014, pp.1- 4.

[17] *G. Paltanea, V. Manescu (Paltanea), H. Gavrila, A. Nicolaide and* ***B. Dumitrescu***, "Comparison between magnetic industrial frequency properties of non-oriented FeSi alloys, cut by mechanical and water jet technologies", Revue Roumaine des Sciences Techniques Serie Électrotechnique et électroénergétique, vol. 61, no. 1, pp. 26-31, 2016.

[18] ***B. Dumitrescu,*** *S. A. Ciureanu and H. Gavrila*, "Magnetic properties of nanocrystalline films and amorphous Co-rich alloys", in Proc. Int. Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering, ISFEE 2014, Bucharest, Romania, 2014, pp.1- 4

[19] *J. Drury and B. Turnbull*, Towards more efficient order picking, Great Britain, U.K.: Institute of Logistics, 1988, pp. 38-42.

[20] *S. Radhakrishnan*, "Pharmaceutical Packaging Market by Product Type (Plastic Bottle, Parenteral Container, Blister Packaging, Specialty Bags, Closures, Labels, and Others) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022", ALL885283, Dec. 2016, pp. 4-12.