

Raport Științific și Tehnic Rezumat

Etapa III

Dezvoltare și integrare prototip bazat pe rețea socială multi-agent pentru mentenanța predictivă

Cod proiect: *COFUND-CHIST-ERA-SOON*

Nr contract: 101/ 17.04.2019

Titlul proiectului (în română): *Rețea Socială de Dispozitive Inteligente*

Titlul proiectului (în engleză): *Social Network of Machines*

Acronimul proiectului: *SOON*

*Universitatea de Medicină, Farmacie, Științe și Tehnologie
“George Emil Palade” din Târgu Mureș
(UMFST)*

Pagina web a proiectului partener UMFST: *<https://soon.umfst.ro>*

Durata contractului: *17.04.2019 - 28.04.2022 (36 de luni)*

Etapa III, Perioadă de Raportare: *03.12.2020 - 02.12.2021*

Cuprins

1. Obiectivele Etapei III	3
1.1. Context. Aspecte preliminare	3
1.2. Obiectivele specifice aferente Etapei III	3
1.3. Activitățile specifice ale etapei actuale	4
2. Sinteza realizărilor Etapei III	7
3. Descrierea științifică și tehnică	10
3.1. Aspecte preliminare	11
3.2. Cadru de integrare soluție inteligentă pentru mentenanță predictivă	11
3.3. Modelul și arhitectura soluției bazate pe paradigma unei rețele sociale multiagent	12
3.4. Dezvoltarea algoritmilor de mentenanță predictivă bazați pe tehnici de IA	13
3.5. Interfațarea între mașinile și dispozitivele inteligente. Interfațarea operator-mașină	14
3.6. Testarea și evaluarea soluției integrate de mentenanță predictivă	15
3.7. Testare și evaluare soluție industrială dezvoltată	15
3.8. Implementare algoritmi pentru detecția defectelor apelând la tehnici de IA	15
3.9. Sistemul social multiagent: Specificații și arhitectură	16
4. Rezultate etapă	16
5. Concluzii referitoare la Etapa III de implementare a proiectului	16
6. Scurt raport despre mobilități și activitatea de diseminare și/sau formare profesională	17
7. Bibliografia selectivă	18

1. Obiectivele Etapei III

1.1. Context. Aspecte preliminare

Prezentul document își propune să prezinte o sinteză a principalelor activități și rezultatele aferente Etapei a III-a de desfășurare a proiectului.

O direcție importantă de evoluție în Industria 4.0 vizează integrarea tehnologiilor inteligente în toate sferile producției industriale. În concepția actuală, soluțiile inteligente, dacă sunt implementate, pot fi regăsite la nivel de aplicații de sine stătătoare, cu caracter eterogen, care în cele mai multe cazuri funcționează izolat, fără posibilitatea interconectării și cooperării eficiente în scopul îndeplinirii unor funcții integrate multi-sistem, chiar dacă au o localizare fizică apropiată. Motivația centrală a cercetărilor propuse urmărește dezvoltarea unei paradigme de interconectare facile a proceselor, datelor, lucrurilor și oamenilor într-o paradigmă holistică care extinde conceptul ce stă la baza Internet-ului autentic “a tuturor lucrurilor”, cu funcții având anumite grade de inteligență.

În proiectul de față, paradigma holistică propusă este centrată pe un cadru de lucru multi-agent ce modelează mașini, procese dar și oamenii care le operează sau monitorizează. Chiar dacă automatizările au preluat multe din funcțiile operatorilor umani, prezența acestora este în continuare esențială din punctul de vedere al expertizei tehnice, care din perspectiva proiectului reprezintă una dintre sursele de cunoștințe utilizate de agenții software alături de alte surse de date ce sunt utilizate de algoritmi de învățare profundă și de extragere a unor detalii și caracteristici, cu scopul de a oferi informații noi, esențiale, altfel dificil de extras de operatorii umani.

Scopul principal al proiectului constă în identificarea și propunerea unor soluții inovative pentru optimizarea proceselor de fabricație prin metode inteligente de mentenanță predictivă. Modul de rezolvare a acestei probleme în cadrul proiectului SOON pleacă de la un set de scenarii de mentenanță predictivă stabilite în colaborare cu trei companii industriale (din Slovacia, Spania și Elveția). Profilul diferit al celor trei parteneri industriali implicați asigură generalitatea abordării proiectului din perspectiva tipurilor de procese industriale de fabricație considerate. În final, intenționăm să demonstrăm că introducerea principiilor specifice Industriei 4.0, combinată cu dezvoltări recente ale învățării automate, alături de aplicarea unei arhitecturi bazate pe un sistem social multi-agent, pot conduce în final la obținerea unei inovații semnificative în direcția optimizării proceselor industriale.

În Etapa a III-a de raportare a proiectului, consorțiul format din trei universități, un institut de cercetare al unei academii naționale și trei companii industriale cu profil de producție distinct (producție mașini unelte, industrie siderurgică, reciclare și producție mase plastice) din diferite țări europene s-a focusat pe crearea cadrului de implementare a propunerii SOON.

Consortiul de implementare a proiectului SOON este compus din următoarele entități:

- Universitatea de Științe Aplicate și Arte Elveția de Vest (HES-SO) din Elveția, coordonator de proiect;
- Academia Slovacă de Științe (SAV) din Slovacia;
- Universitatea din Oviedo (UNIOVI) din Spania;
- Universitatea de Medicină, Farmacie, Științe și Tehnologie „George Emil Palade” din Târgu Mureș (UMFST);
- Compania Tornos SA (Tornos) din Elveția, partener industrial;
- MAT-obaly, s.r.o. (MAT) din Slovacia, partener industrial;
- ArcelorMittal (AMI3) din Spania, partener industrial.

1.2. Obiectivele specifice aferente Etapei III

Obiectivul general al proiectului SOON este de a investiga impactul utilizării agenților sociali

autonomi inteligenți pentru optimizarea proceselor de producție industrială în contextul Industriei 4.0 din perspectiva menținerii în funcțiune la parametri nominali și evitarea întreruperilor prin aplicarea unor măsuri adecvate de mentenanță predictivă. Soluția propusă constă în principal în anticiparea și depistarea timpurie a apariției defecțiunilor, identificarea naturii defecțiunilor, respectiv localizarea acestora. Figura 1 conține reprezentarea ideii conceptuale de Rețea socială de dispozitive inteligente.



Figura 1. Reprezentarea conceptuală a soluției de Rețea socială de dispozitive inteligente

Obiectivele specifice Etapei III constau în următoarele:

- **Obiectiv 1.** Cercetare și dezvoltare framework de integrare mentenanță predictivă bazată pe paradigma multi-agent propusă. (realizat prin Act. 3.1).
- **Obiectiv 2.** Proiectare și dezvoltare arhitectură soluție de rețea socială de mașini modelată prin intermediul abordării de sistem multiagent. (realizat prin Act. 3.2)
- **Obiectiv 3.** Cercetare și concepere algoritmi de mentenanță predictivă bazați pe tehnici de Inteligență Artificială (IA). (realizat prin Act. 3.3)
- **Obiectiv 4.** Proiectarea și implementarea interfațării dintre dispozitivele inteligente (M2M) și a interfeței om-mașină (UI). (realizat prin Act. 3.4)
- **Obiectiv 5.** Concepere și dezvoltare plan de evaluare soluție mentenanță predictivă. (realizat prin Act. 3.5)
- **Obiectiv 6.** Concepere scenarii de evaluare și testare performanțe soluție industrială pilot. (realizat prin Act. 3.6)
- **Obiectiv 7.** Concepere, implementare modul pentru predicția defectării echipamentelor și senzorilor cu algoritmi de IA. (realizat prin Act. 3.7)
- **Obiectiv 8.** Managementul proiectului și diseminare.

1.3. Activitățile specifice ale etapei actuale

În conformitate integrală cu Planul de Realizare al Proiectului, în cadrul Etapei a III-a au fost implementate două categorii de activități: unele aflate în derulare din etapa precedentă, respectiv unele care au început în această etapă. Derularea unora dintre activități va continua în etapa următoare.

Act. 3.1. Dezvoltare framework de integrare (Activitatea Act. 1.5. din Etapa I, a continuat cu identificatorul Act. 2.1. în Etapa II, a continuat și în această etapă) [conf. planului de realizare] [Finalizat cu succes]

Activitate axată cu precădere pe elaborarea cerințelor și designului framework-ului de integrare și

totodată a implementării framework-ului de integrare (în propunerea de proiect, WP5: T5.2, T5.3).

În baza analizei cerințelor și specificațiilor stabilite în etapa anterioară s-a dezvoltat cadrul de integrare (framework) al soluției inteligente pentru mentenanță predictivă bazată pe o paradigmă multi-agent inovativă. Abordarea considerată în cadrul proiectului are la bază scenariile de mentenanță predictivă definite, specifice fiecărui partener industrial, cu luarea în considerare a unui număr mare de factori precum eterogenitatea, disponibilitatea, de timp real și cantitatea datelor achiziționate.

Soluția dezvoltată pornește de la ideea interconectării agile [Yli19] a principalelor module de procesare inteligentă, servicii, surse și stocări de date. În acest sens s-a urmărit definirea unei interfețe universale expusă de modulele de interes, astfel încât să permită configurarea soluției în funcție de nevoile scenariului de lucru, adăugarea unor module suplimentare de procesare inteligentă, integrarea continuă a unor soluții noi în contextul funcțional existent și nu în ultimul rând interacțiunea cu operatorul uman.

Act. 3.2. Implementare model și arhitectură soluție rețea socială multiagent. *(Activitate începută în Etapa II având identificatorul Act. 2.4.; continuată în Etapa III) [conf. planului de realizare][Finalizat cu succes]*

Activitate axată pe implementarea modelului și arhitecturii soluției de rețea socială multiagent (în propunerea de proiect, WP3: T3.2).

În cadrul acestei activități s-a urmărit dezvoltarea și rafinarea arhitecturii inovative bazate pe o structură de cooperare inteligentă integrată sub forma unei rețele sociale ce reunește dispozitivee IIoT, mașini, soluții de procesare în cloud cât și specialiști umani. Baza principală a acestei soluții o reprezintă sistemul multi-agent ce poate opera cu diferiți algoritmi de procesare inteligentă adaptați locului și domeniului de utilizare, algoritmi ce au o componentă de învățare automată care are ca fundament ontologia propusă și dezvoltată în cadrul proiectului. Legat de acest aspect trebuie menționată activitatea privind dezvoltarea și rafinarea structurii standard a profilului agenților cât și a modelului relațiilor sociale dintre aceștia.

Act. 3.3. Explorare și concepere algoritmi de mentenanță bazați pe inteligență artificială (IA). *(Act. 1.3. începută în Etapa I a continuat în Etapa II cu identificatorul Act. 2.5.; continuat și în Etapa III) [conf. plan de realizare] [cu succes, continuare în Etapa IV]*

Activitate axată pe proiectarea de algoritmi bazați pe tehnici de inteligență artificială (în propunerea de proiect, WP4: T4.1, T4.2).

Una dintre temele principale ale proiectului se centrează pe explorarea, dezvoltarea și îmbunătățirea modului de implementare a unei soluții de mentenanță predictivă în contextul Industriei 4.0 cu ajutorul modelelor bazate pe tehnici de învățare automată. În acest context activitățile desfășurate s-au centrat pe i) prezicerea defectării sistemelor tehnice utilizate în producția industrială dar și ii) identificarea unor anomalii care ar putea avea ca sursă date eronate cauzate de defectarea senzorilor de monitorizare.

Act. 3.4. Dezvoltare soluție interfațare dispozitive inteligente și interfața om-mașină. *(începută în Etapa II cu identif. Act 2.6.; continuat în Etapa III) [cu succes, conf. planului de realizare] [Finalizat]*

Activitate axată pe proiectarea și implementarea interfațării dintre dispozitivele inteligente (M2M) și a interfeței om-mașină (UI) (în propunerea de proiect, WP5: T5.4).

O componentă importantă care asigură implementarea cu succes a structurii sociale colaborative este reprezentată atât de interfețele de comunicare dintre dispozitivele inteligente - mașină la mașină

(M2M) cât și de interfața om-mașină (UI).

În această activitate s-a urmărit definitivarea specificațiilor și a modelului de realizare a interfațării agent la agent (A2A), respectiv M2M, oferind cadrul de implementare și testare a funcționalităților acesteia atât în cadrul facilităților locale, cât și interconectat cu platforma experimentală dezvoltată de partenerul din Slovacia.

Act 3.5. Testare și evaluare soluție integrată mentenanță predictivă. (*începută în Etapa II cu identificatorul Act. 2.7.; continuată în Etapa III*) [conf. planului de realizare] [Finalizat cu succes]

Activitate axată pe dezvoltarea și implementarea planului de evaluare (în propunerea de proiect, WP6: T6.1).

În această activitate s-a propus pornind de la analiza realizată în etapa anterioară definirea și adaptarea indicatorilor de performanță adoptați în concordanță cu particularitățile soluțiilor definite de mentenanță predictivă. De asemenea s-a urmărit stabilirea procedurilor, scenariilor de testare și metodologia de achiziție și prelucrare a datelor obținute, respectiv criteriile de validare. În cadrul acestei activități s-a propus realizarea unei serii de teste preliminare pentru calibrarea și validarea abordărilor propuse.

În cadrul etapei următoare este vizată realizarea activităților de testare și evaluare detaliată.

Act. 3.6. Testare și evaluare soluție industrială dezvoltată. (*activitate începută în Etapa III*) [conf. planului de realizare] [cu succes, continuare în Etapa IV]

Activitate axată pe testare și evaluare în cadrul implementărilor pilot industriale (WP6: T6.2).

Verificarea și validarea în condiții experimentale reale reprezintă o etapă în care se conferă unei soluții noi girul transferului din laborator în mediul real. În vederea facilitării utilizării soluției în mediul industrial real s-a propus realizarea unui model de experimentare și testare cu caracteristici reale: pornind de la dispozitive și mașini reale și continuând cu sursele de semnale relevante. În această activitate s-a vizat realizarea testelor în concordanță cu o serie de scenarii particularizate, considerând diferite tipuri de regimuri de funcționare, diferite defecte, cu intensități variate și perturbații de diferite nivele, respectiv orientare spațială.

Datele obținute în această activitate urmează să fie selectate și organizate astfel încât să permită includerea lor în setul de date cu acces deschis al proiectului.

Act. 3.7. Implementare algoritmi pentru detecția defectelor apelând la tehnici de IA. (*activitate începută în Etapa II cu identificatorul Act. 2.9.; continuată în Etapa III*) [conform planului de realizare] [cu succes, continuare în Etapa IV]

Activitate axată pe implementarea modulului pentru detecția predictivă a defectelor folosind algoritmi de Inteligență Artificială (în propunerea de proiect, WP4: T4.3).

În cadrul acestei activități s-a propus proiectarea și implementarea unor algoritmi destinați identificării tipurilor de defecte ce pot apărea inclusiv în cazul senzorilor operaționali cât și a celor de monitorizare pentru implementarea soluției de mentenanță predictivă a mașinilor și utilajelor de producție industrială. Activitatea a presupus mai multe direcții de urmat precum: analiza și identificarea caracteristicilor proceselor vizate a fi utilizate ca sursă de date pentru algoritmi de învățare automată, care a inclus o serie de subactivități specifice ce au cuprins dezvoltarea și implementarea unor strategii de condiționare, filtrarea, vizualizarea științifică și etichetare în achizițiile realizate, implementarea algoritmilor, respectiv testare, evaluare și validare formală. Scopul principal al acestei activități a urmărit găsirea răspunsului la ipoteza obținerii unor îmbunătățiri a performanțelor generale de măsurare cât și de identificare corectă a proceselor de defectare.

Act. 3.8. Management proiect, publicații și diseminare. (*Continuarea Act. 1.4 din Etapa I; continuat în Etapa II cu identificatorul Act. 2.8.; continuat inclusiv în Etapa III*) [*conf. planului de realizare*][*cu succes, continuare în Etapa IV*]

Include activitățile specifice de management ale proiectului și diseminare (în propunerea de proiect, WP1: T1.2, WP7:T7.1).

Această activitate a vizat realizarea sarcinilor necesare asigurării managementului proiectului, activităților de raportare, de diseminare și creșterea vizibilității. În vederea asigurării vizibilității sporite s-a urmărit actualizarea portalului web bilingv român și englez al proiectului ce ține de partenerul UMFST, respectiv popularea acestuia cu informațiile specifice etapei actuale. Pe parcursul întregii etape s-a explorat, elaborat și adaptat strategia de diseminare ținându-se cont de contextul pandemic actual cu virusul SARS-CoV-2 a cărei evoluție și impact nu s-au putut estima.

2. Sinteza realizărilor Etapei III

R.1. Activități specifice de implementare a propunerii SOON desfășurate în Etapa III

Etapa III a inclus diverse activități de cercetare-dezvoltare-testare-evaluare specifice implementării proiectului, descrise în secțiunea 1.3., care au fost desfășurate cu succes conform planului de realizare.

R.2. Colaborarea cu partenerii de proiect SOON

A fost menținută o colaborare strânsă cu partenerii de proiect SOON, atât cei din mediul universitar cât și cei industriali. Lunar au fost organizate videoconferințe aferente ședințelor ordinare la care au participat toți partenerii din proiect. Cu aceste ocazii au fost prezentate rapoartele de progres de partea tuturor partenerilor. În funcție de necesități au fost stabilite întâlniri pentru discuții bilaterale pe teme de interes particulare.

R.3. Colaborarea pe linie științifică și cercetare dintre proiectele SOON și FIREMAN

Colaborarea științifică între proiectele SOON și *Framework for the Identification of Rare Events via Machine learning and IoT Networks* (FIREMAN), inițiată în prima etapă a proiectului, a fost extinsă și a continuat în cadrul perioadei curente de raportare. De referință sunt implicarea în acțiuni comune, cum ar fi Workshopul “FIREMAN and ee-IoT”, 14 mai 2021 [Gli21]. Continuarea acestei colaborări a fost posibilă și motivată de complementaritatea existentă între cele două proiecte, respectiv de viziunea privind obținerea în sfera cercetării a unor beneficii de ambele părți.

R.4. Stabilirea următoarei ediții a Workshop-ului Smart Technologies in Industry 4.0

În Etapa II de derulare a proiectului SOON, proiectele SOON și FIREMAN au organizat prima ediție a Workshop-ului internațional *Smart Technologies in Industry 4.0* (RATIONALITY) [WebR]. Contribuția principală la organizarea Workshop-ului a avut-o echipa UMFST prin rolul de gazdă a evenimentului și organizator principal. Desfășurarea evenimentului a avut loc online, locația virtuală fiind pe platforma Microsoft Teams a UMFST. Mediatizarea workshopului RATIONALITY a fost realizată prin diverse mijloace de comunicare electronică, inclusiv social media. <https://www.facebook.com/InterEng>

În această etapă s-a stabilit ca următoarea dată de desfășurare a workshop-ului să fie în Etapa IV de derulare a proiectului. La acest workshop vor fi prezentate rezultate științifice și rapoarte de progres de partea ambelor proiecte atât SOON cât și FIREMAN.

R.5. Diseminare, comunicare, participare la conferințe

R.5.1. Comunicarea și diseminarea unor rezultate de cercetare obținute în colaborare de către partenerii de proiect

Colaborativ în cadrul proiectului a fost elaborată lucrarea intitulată *SOON: Social Network of Machines to Optimize Task Scheduling in Smart Manufacturing* [Gho21] ce a inclus rezultate obținute în colaborare de către echipa UMFST cu partenerii de proiect. Lucrarea prezentată la conferința prestigioasă 2021 IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC) ce a avut loc la data de 13-16 Sept. 2021 în Helsinki, Finlanda, fiind publicată de IEEE CS Press. **PIMRC 2021 este o conferință clasificată Core B.**

R.5.2. Comunicări în cadrul unor workshop-uri.

Echipa UMFST împreună cu partenerii de proiect au participat la conferința: Joint FIREMAN and ee-IoT, Virtual Workshop 2021, May 14, 2021. Cu această ocazie a fost prezentată comunicarea intitulată: *SOON Social Network of Machines a Solution for Smart Manufacturing*, ce a fost elaborată în colaborare de către echipa de cercetare UMFST și echipa de cercetare a Institutului de Informatică al Academiei Slovace de Științe, partener în proiectul SOON, fiind prezentare rezultate recente de cercetare. Una dintre scopurile prezentării a constat în diseminarea unor rezultate preliminare ale cercetării obținute în cadrul proiectului SOON care urmează să fie extinse, diseminate și publicate.

R.5.3. Participarea la Seminariile CHIST-ERA 2021

Echipa UMFST a participat la Seminariile Proiectelor CHIST-ERA 2021 (CHIST-ERA Projects Seminar 2021), organizate online între 12-14 Aprilie, 2021. De partea proiectului SOON a fost efectuată o prezentare, referitoare la raportul de progres, la care a participat și echipa UMFST.

R.5.4. Participarea la competiția de promovare și diseminare a proiectelor CHIST-ERA organizată în cadrul Seminarilor CHIST-ERA 2021

Cu ocazia acestei competiții a fost realizat un material video promoțional de popularizare a proiectului SOON. Materialul pregătit se regăsește atât pe portalul web al proiectului SOON de partea echipei UMFST (<https://soon.umfst.ro>) cât și pe portalul web CHIST-ERA (<https://www.chistera.eu/ps2021-video-contest>).

R.5.5. Participarea echipei UMFST la organizarea unei conferințe internaționale

Echipa UMFST a participat la organizarea conferinței internaționale Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG 2021), 7-8 Octombrie 2021, eveniment online având locația virtuală UMFST. Tema principală anunțată a conferinței ce include și tema particulară a proiectului SOON a fost: “Aspecte inovatoare ale conceptelor din Industria 4.0 care vizează consolidarea viitorului digital al producției în companii”.

R.5.6. Actualizarea portalului web bilingv

Portalul web bilingv (în română și engleză) al proiectului SOON a fost actualizat, prezentând informațiile relevante referitoare la proiect, specifice etapei actuale de derulare. Printre altele include și un material video de popularizare a proiectului SOON pentru părți interesate.

R.6. Publicații și premierea rezultatelor cercetării

R.6.1. Rețea socială de mașini pentru optimizarea planificării sarcinilor în manufacturarea inteligentă

Articolul intitulat “**SOON: Social Network of Machines to Optimize Task Scheduling in Smart Manufacturing**” [Gho21] prezintă principalele rezultate obținute în colaborare de către **partenerii de proiect**. Scopul cercetării a constat în investigarea impactului utilizării agenților sociali autonomi pentru optimizarea proceselor de producție aferente unei platforme industriale bazată pe conceptul de Industrie 4.0. **Lucrarea fost acceptată pentru prezentare în cadrul unei conferințe clasificate CORE B și publicate în volumul conferinței.**

Diferite aspecte referitoare la proiectarea unor arhitecturi optime de sisteme de producție inteligente în Industria 4.0 reprezintă subiecte de actualitate [Far20, Tru19]. În acest context în [Gho21] se prezintă arhitectura sistemului multi-agent SOON și metodele propuse care vizează optimizarea planificării sarcinilor. Sunt propuse două abordări diferite de planificare. Prima abordare se bazează pe o paradigmă de „licitație” în care alocarea unei sarcini este decisă în funcție de capacitatea unui agent de tip mașină de a licita pentru realizarea acelei sarcini. A doua abordare este construită pe o rețea de agenți în care agenții învață achiziția și realizarea sarcinilor în mod cooperativ. Ambele soluții permit gestionarea și sincronizarea comunicării dintre agenți în timpul realizării sarcinilor. Pentru a descrie fiecare abordare, sunt ilustrate două cazuri de utilizare industrială: procese de fabricare în industria siderurgică și procese de fabricare ale unor piese și subansamble de înaltă precizie. În cele din urmă, în rețeaua de agenți, agenții sunt instruiți utilizând învățarea întărită pentru a maximiza recompensa cumulativă și pentru a optimiza planificarea producției. Rezultatele obținute demonstrează că învățarea prin întărire permite învățarea comportamentului optim în diverse scenarii.

R.6.2. Indicator de Performanță de tip cutie neagră (black-box) pentru modelarea măsurării inteligentei sistemelor

În articolul [Ian18B] am efectuat un studiu cuprinzător asupra tendințelor recente în măsurarea inteligenței sistemelor bazate pe agenți. **Diverse rezultate [Ian19a, Ian19b] referitoare la măsurarea inteligenței sistemelor au fost obținute în etapele anterioare de implementare ale proiectului.**

Articolul intitulat “**Black-Box-Based Mathematical Modelling of Machine Intelligence**” [Ian21] a fost premiat cu premiul PN-III-P1-1.1-PRECISI-2021-53997. Revista unde a fost publicat articolul este încadrată în lista publicațiilor Q1 al WoS. Scopul cercetării a constat în elaborarea unui Indicator de Performanță [IP, En: Key Performance Indicator (KPI)] universal de tip cutie-neagră (black-box), numit MetrIntPairII ce poate fi utilizat cu scopul măsurării inteligenței sistemelor în general și a sistemelor multiagent cooperative în particular. Articolul publicat este cu acces deschis (open access), permițând astfel accesul liber al cercetătorilor din lumea întreagă și utilizarea acestuia în cercetare.

R.6.3. Analiza exploratorie a factorilor pentru identificarea factorilor de risc

În articolul [Dob21] s-a efectuat un studiu asupra unor metode statistice de analiză a datelor. Scopul cercetării a vizat obținerea unei sinteze preliminare asupra utilizării în viitor a metodelor bazate pe analiza datelor de mentenanță predictivă în cadrul Industriei 4.0. Articolul este publicat în regim de acces deschis într-o revistă BDI putând fi accesat de cercetători din lumea întreagă.

Printre subiectele tratate în analiză se numără: analiza exploratorie a factorilor; stabilirea

numărului optim de factori; analize de corelații; testul Bartlett, testul Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy și altele. Stabilirea numărului optim de factori este o problemă deosebit de dificilă ce a fost abordată în numeroase studii [Yun17, Cos05, Hay04, Pre13, Son08]. Stabilirea unui număr necorespunzător de factori poate să ducă la rezultate imprecise sau chiar eronate. Printre metodele cele mai utilizate în stabilirea numărului de factori se numără criteriul lui Kaiser [Kai58], testul numit Cattell's Scree [Cat66]. Criteriul lui Kaiser permite prin evaluare numerică stabilirea numărului de factori. Testul Cattell's Scree permite prin evaluare vizuală stabilirea numărului de factori. În multe cercetări se consideră aplicarea ambelor teste, numărul de factori se alege astfel încât să fie satisfăcute constrângerile ambelor teste.

În cercetarea efectuată s-a pus în evidență un aspect deosebit de important ce trebuie luat în considerare în determinarea numărului de factori și anume varianța cumulativă minimală ce trebuie să fie explicată de factorii extrași. Sunt totodată indicate diverse teste și verificări ce trebuie efectuate pentru ca analiza exploratorie a factorilor să fie corect aplicată.

R.7. Platforma pilot de testare și evaluare soluții IIoT/IoE pentru mentenanță predictivă

În Etapa I-a a fost începută, apoi continuată în Etapa a II-a, dezvoltarea unei *Platforme pilot de testare și evaluare soluții IIoT/IoE pentru mentenanță predictivă* (Figura 2, stânga arhitectura și în dreapta o imagine vizuală a infrastructurii). Soluția de testare constă dintr-o unitate HPC, stații de lucru, o rețea de comunicație cu echipamente de mare viteză și management, și sisteme SBC conectate via PoE ca sisteme de tip concentrator de date de la senzori via soluții SoC.

În Etapa III a fost extinsă platforma pilot de testare și evaluare soluții IIoT/IoE pentru mentenanță predictivă. Standul experimental a permis obținerea de noi date care au fost utilizate în cercetare în Etapa actuală, urmând a fi planificată folosirea lor și în Etapa următoare a proiectului. Datele vor fi disponibile cu acces liber în surse recunoscute permițând utilizarea lor de către toți cercetătorii interesați.

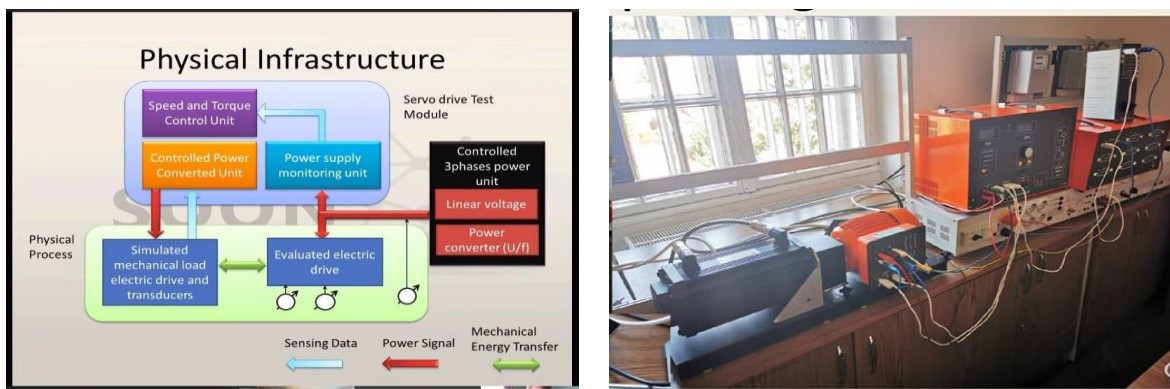


Figura 2. Platforma pilot de testare și evaluare soluții IIoT/IoE pentru mentenanță predictivă.

3. Descrierea științifică și tehnică

În această etapă de raportare, precum s-a enumerat anterior, au fost abordate o serie de activități cu o complexitate ridicată, atât pe plan științific cât și aplicativ. În această secțiune se sintetizează activitățile desfășurate în perioada de raportare.

S-a considerat utilă structurarea acestei descrieri tehnice pe secțiuni corelate cu principalele activități vizate în vederea oferirii unei perspective de ansamblu asupra soluției de mentenanță predictivă bazată pe arhitectura inovativă de sistem social multiagent holistic, ce integrează mașini, dispozitive, operatori, ontologii, cunoștințe, algoritmi de procesare în timp-real bazați pe IA și big

data.

3.1. Aspecte preliminare

În zona industrială, interesul pentru soluționarea problemelor de mentenanță predictivă este de mare actualitate [Car19, Zon20]. În acest proiect, având în vedere acest aspect, s-a propus investigarea fezabilității dezvoltării unei soluții fundamentate pe o paradigmă holistică bazată pe agenți inteligenți sociali pentru mentenanță predictivă ce include atât mașini cât și operatori umani. Operatorii din postura de experți furnizează cunoștințe, dar în același timp beneficiază de suportul oferit de agenți în procesele decizionale. Acest lucru implică diverși algoritmi de extragere de valori și caracteristici, cât și algoritmi de învățare profundă cu scopul optimizării proceselor industriale. O provocare semnificativă a acestor algoritmi e legată de cantitățile mari de date, de exemplu mii de mega bytes în 24 de ore, caracterul eterogen, dat de diversitatea semnalelor achiziționate (vibrații, temperaturi, consumuri energetice, etc), acestea furnizate de o diversitate mare de echipamente și dispozitive (sisteme de supervizare și monitorizare, sisteme de control automat, roboți). În multe situații sunt necesare măsurători în timp real, dar în același timp și date provenite din înregistrări istorice, disponibile sub forma unor serii de timp, unele având ca sursă sistemele ERP, toate conducând la o creștere a complexității problemei abordate.

Soluția dezvoltată se bazează pe specificațiile provenite de la diversele companiile industriale implicate în proiect. Viziunea generală pe care se bazează arhitectura soluției propuse este prezentată în Figura 3. Principala cerință a proiectării constând în asigurarea scalabilității, astfel încât să permită înglobarea în mod dinamic a unor entități precum mașini fizice și procese, dispozitive, senzori și infrastructuri TIC constând din sisteme inteligente de procesare în cloud, concentratoare de date și software de prelucrare și analiză.

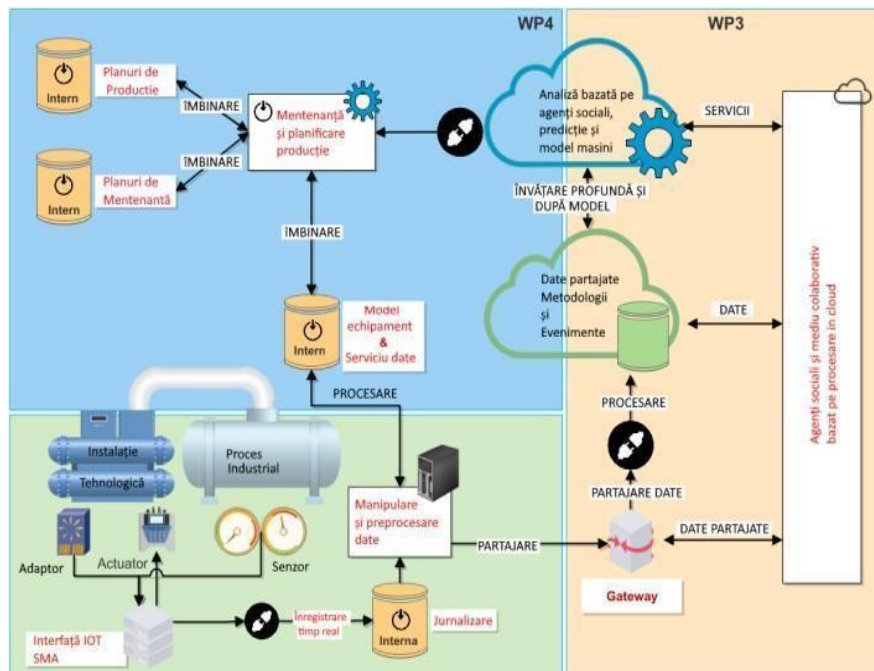


Figura 3. Soluția SOON propusă pentru mentenanță predictivă.

3.2. Cadru de integrare a soluției inteligente pentru mentenanță predictivă

Unul dintre obiectivele importante ale etapei curente s-a concentrat pe dezvoltarea unui cadru de

integrare a principalelor funcționalități de mentenanță predictivă propuse în scenariile specifice industriilor considerate în proiect. În baza analizei cerințelor și a specificațiilor stabilite în etapa anterioară s-a dezvoltat cadrul de integrare (framework) a soluției inteligente pentru mentenanță predictivă bazată pe paradigma unei platforme multi-agent.

Cadrul de lucru dezvoltat în proiect a pornit de la ideea posibilității integrării agile [Yli19] a principalelor module, servicii, surse și stocări de date. Rezultatul a condus la definirea unei interfețe universale ce oferă accesul la modulele de interes, în condițiile posibilității configurării soluției în funcție de nevoile existente specificate în cadrul scenariului de lucru sau cu posibilitatea de adăugare de noi facilități, de exemplu cum ar fi în cazul modulelor de procesare inteligentă, integrarea continuă a unor noi soluții în contextul funcțional existent.

Pentru a se asigura o portabilitate crescută și compatibilitate extinsă s-a considerat oportună adoptarea a două metodologii de integrare, respectiv prin utilizarea descrierilor standardizate în limbaj de marcare și respectiv utilizarea unor protocoale consacrate, în cazul de față fiind varianta MQ Telemetry Transport (MQTT)[MqtW].

Estimând necesitatea adaptării dinamice a funcțiilor oferite, în abordarea propusă, s-a adoptat o structură de tip agent software ce suportă actualizarea în timp real a modelului său funcțional, considerate fiind fie actualizarea parametrilor modelului de procesare inteligentă sau chiar a întregului algoritm. Modelul propus a fost testat cu ajutorul platformei experimentale dezvoltate pentru modelarea unui scenariu de mentenanță predictivă pentru un utilaj cu acționări cu turație variabilă echipat cu senzori de monitorizare integrați într-un sistem de achiziție de date de rezoluție și viteză mare, în cazul căruia s-au actualizat modelele de recunoaștere a defectelor (de natură electrică, mecanică, etc.) rezultate în urma măsurătorilor în timp real.

Un aspect aparte, menționat în Documentul de cerințele a soluției propuse, urmărit pe parcursul întregului proiect, a vizat considerarea în prim plan a rolului operatorului uman. Astfel s-a proiectat și dezvoltat un model extensibil de interfațare cu operatorul uman adoptat pe baza tehnologiilor IoT. În prototipul demonstrator, operatorul uman poate interacționa cu soluția multi-agent și poate obține informații despre starea, resursele, mesajele de sistem ale platformei.

3.3. Modelul și arhitectura soluției bazate pe paradigma unei rețele sociale multiagent

O sarcină importantă a acestei etape a constat în activitatea axată pe implementarea modelului și a arhitecturii soluției de rețea socială multiagent. Figura 4 conține o prezentare de ansamblu a soluției propuse pentru mentenanța predictivă în Industria 4.0, ilustrând totodată arhitectura generală SOON.

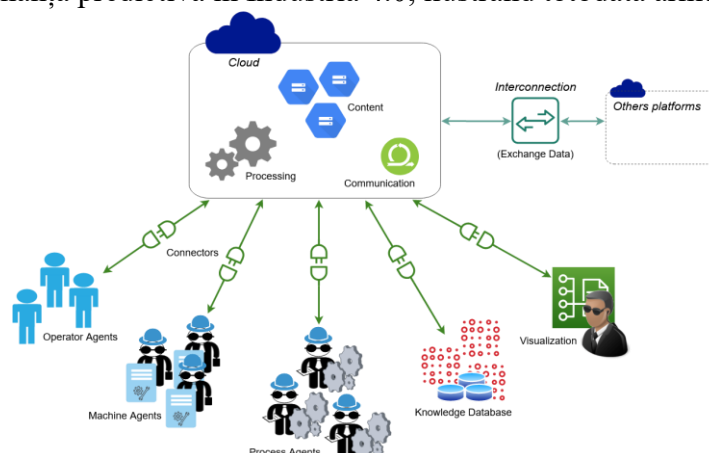


Figura 4. Arhitectura generală SOON

Dezvoltările realizate pornind de la abordarea inovativă introdusă în cadrul acestui proiect au

condus la obținerea unei soluții ce integrează, considerând ca model de bază o structură cooperativă inteligentă, sub forma unei rețele sociale, dispozitive IoT, mașini, soluții de procesare în cloud cât și specialiști umani.

Arhitectura dezvoltată și rafinată în această etapă de desfășurare a proiectului se bazează pe o paradigmă multi-agent ce include o componentă de învățare automată online și totodată ontologia propusă și dezvoltată în cadrul proiectului precum și o funcție de adaptare în timp real cu ajutorul algoritmilor de cooperare pentru identificarea unor configurații optime ca suport pentru problemele de decizie aferente cazurilor descrise prin scenariile de mentenanță predictivă.

Ca rezultat semnificativ al acestei etape se poate menționa structura standard rafinată a profilului agenților și a modelului relațiilor sociale dintre aceștia.

Varianta actualizată a ontologiilor utilizate de sistemul multiagent a fost concepută astfel încât să descrie în mod comprehensiv un context social multinivel adaptiv, a cunoștințelor extinse și a relațiilor mutuale dintre entitățile de tip agent.

Arhitectura dezvoltată se bazează pe modele parametrizabile ale profilurilor agenților și ale relațiilor sociale dintre aceștia. Arhitectura expune funcționalități ce vizează cooperarea pe baza unor relații sociale pentru servicii de tip ajutor, asistență, prietenie sau urmărire, care pot fi extinse în funcție de specificațiile unor noi cerințe care ar putea fi propuse.

În mod particular, pentru asigurarea unei compatibilități extinse, sistemul colaborativ în timp real a fost proiectat să implementeze o interacțiune de tip publicare-subscriere bazată pe MQTT și integrare în cloud.

3.4. Dezvoltarea algoritmilor de mentenanță predictivă bazați pe tehnici de IA

În cadrul proiectului s-a propus exploatarea uneia dintre cele mai importante resurse disponibile în cadrul platformelor industriale actuale, fiind vorba aici despre datele la care avem acces ca urmare a disponibilității senzorilor, sistemelor de monitorizare și chiar cele de stocare cum ar fi soluțiile ERP. Natura, complexitatea și cantitatea datelor disponibile însă, reprezintă o barieră importantă în procesul de rezolvare a numeroase probleme des întâlnite în practica industrială actuală. Una dintre cele mai importante probleme, considerată ca un subiect al acestui proiect, este cea a mentenanței predictive, propusă a fi explorată din perspectiva IA.

Dezvoltările propuse și întreprinse s-au concentrat pe explorarea, proiectarea și îmbunătățirea modului de implementare a unei soluții de mentenanță predictivă în contextul Industry 4.0 cu ajutorul modelelor bazate pe tehnici de învățare automată capabile să estimeze cu o acuratețe ridicată momentul apariției defectelor în cazul sistemelor tehnice utilizate în producția industrială dar și identificarea tipului de defect la diverse nivele de granularitate - detecția defectării unui subansamblu, componentă, modul sau cel al defectării senzorilor.

În vederea dezvoltării algoritmilor propuși s-a considerat utilă apelarea la surse reale de date în vederea transferului facil al rezultatelor în mediul industrial. Astfel, s-au utilizat date furnizate de standul demonstrator, date asociate unor mărimi specifice acționărilor electrice industriale trifazate, într-o primă fază pentru a prezice durata de operare utilă rămasă, respectiv pentru al doilea obiectiv, identificarea defectării senzorilor. Menționăm că s-a pornit de la premisa prezenței unor valori neconforme, ieșite din tipar, în modelul datelor colectate în situația defectării senzorilor. În acest context au fost testați în timp real algoritmi sub formă de aplicație prototip ce funcționează integrat în cadrul soluțiilor bazate pe agenți sociali dezvoltate pentru partenerii industriali. S-au pus astfel bazele dezvoltării unei serii de instrumente care să ofere următoarele funcționalități: i) detectarea în timp real a defectării senzorilor și ii) diagnosticarea defectărilor, clasificarea, predicția și planificarea intervenției. Printre altele au fost testate diverse metode de identificare a valorilor

aberante cum ar fi [Stef72, Zer03, Gru69, Dek05]: Grubbs, Chauvenet, și regula IQR.

Printre algoritmi dezvoltati, testați și evaluați până în prezent se numără cei bazați pe diferite tipuri de algoritmi de învățare profundă pentru identificarea particularităților de funcționare ale acționărilor electrice simple sau în configurații de operare cu parametri variabili prin intermediul unor convertitoare de putere dedicate.

O altă clasă de metode implementate, testate și evaluate experimental au la bază o serie de algoritmi de regresie, precum regresia logistică [Dum22, Lan20]. Au fost investigate aspecte precum aplicabilitatea acestor metode pentru diverse tipuri de date, studiul potențialului de predicție a variabilelor, modelul de regresie, etc. Au fost analizate diverse teste statistice ce ar putea fi adoptate, precum: Wald [Fea96], Hosmer și Lemeshow [Hos13] și altele, necesare pentru verificarea aplicabilității regresiei logistice (acest aspect este deseori neglijat sau chiar aplicat greșit în cercetări). Au fost de asemenea studiate în profunzime aspecte referitoare la calitatea clasificării, care să permită compararea rezultatelor obținute prin regresie logistică cu rezultate furnizate de alte metode.

Rezultatele obținute ne arată că soluțiile propuse prin acuratețea răspunsului furnizat pot fi utilizate cu succes în procese de clasificare și recunoaștere atât pe intrări etichetate cât și neetichetate. Acest lucru permite considerarea acestor algoritmi ca bază pentru soluția integrată de mentenanță predictivă dar și pentru identificarea defectării senzorilor, cel puțin pentru cazul în care datele disponibile de intrare sunt reprezentate de mărimi fizice, cum ar fi semnale de natură mecanică precum accelerații, poziționări, vibrații și semnale electrice obținute de la senzorii de măsură a consumurilor energetice. Dezvoltările de până acum asigură o bază pentru extinderile viitoare specifice particularităților și cerințelor manifestate de partenerii industriali.

În această etapă s-a abordat ceea ce se evidențiază ca un aspect de noutate propus în cadrul proiectului, respectiv, conceperea și dezvoltarea unei strategii de mentenanță predictivă, în acest moment pliat pe rezolvarea scenariului propus pentru configurația sistemelor tehnice ce utilizează sisteme de acționare cu turație variabilă, strategie ce reunește facilități oferite de modulele bazate pe învățare profundă utilizate pentru prelucrarea datelor de la senzori în timp real, cât și algoritmul suport de luare a deciziilor bazat pe rețeaua socială de mașini.

În ultima etapă a proiectului, în colaborare cu partenerii din proiect, este prevăzută extinderea abordării propuse pentru o serie mai largă de cazuri de utilizare prezente în cazul partenerilor industriali.

3.5. Interfațarea între mașinile și dispozitivele inteligente. Interfațarea operator-mașină

O componentă importantă care asigură implementarea cu succes a structurii sociale colaborative este reprezentată atât de interfețele de comunicare dintre dispozitivele inteligente - mașină la mașină (M2M) cât și de interacțiunea om-mașină (H2M).

În această etapă s-au definitivat specificațiile și modelul de realizare al interfațării agent la agent (A2A), respectiv M2M astfel că a fost posibilă implementarea și testarea funcționalităților acesteia atât în cadrul facilităților locale, cât și interconectat cu platforma experimentală dezvoltată de partenerul din Slovacia.

Întrucât operatorul uman este un actor cheie în funcționarea soluției, includerea s-a în furnizarea de expertiză, control, management și monitorizare este posibilă doar prin intermediul soluției de interfațare H2M și UI. Această componentă proiectată și dezvoltată în această etapă oferă posibilitatea operatorului uman să configureze în mod flexibil și să urmărească parametrii de funcționare la nivel de dispozitiv inteligent. În acest moment soluția prototip este disponibilă pentru acces de pe sisteme de calcul ca serviciu web și respectiv cu ajutorul dispozitivelor mobile.

Dacă până în prezent dezvoltarea și implementarea s-a bazat pe tehnologii de ultimă oră precum

Framework-ul Flutter[Mui19], WebGL[Liu21] și Unity[Wod22] urmărindu-se aspecte de funcționalitate, în etapa următoare se vor face ajustări pentru îmbunătățirea performanțelor din perspectiva resurselor utilizate și de optimizare a interacțiunii operator - platforma SOON de mentenanță predictivă.

3.6. Testarea și evaluarea soluției integrate de mentenanță predictivă

În vederea evaluării prin testare experimentală a soluțiilor propuse, pornind de la analiza realizată în etapa anterioară s-au stabilit și definit indicatorii de performanță adoptați în concordanță cu particularitățile soluțiilor definite de mentenanță predictivă. S-au stabilit de asemenea procedurile, scenariile de testare și metodologia de achiziție și prelucrare a datelor obținute, alături de criteriile de validare.

În cadrul acestei activități s-a propus realizarea unei serii de teste preliminare pentru calibrarea și validarea abordărilor propuse.

În cadrul etapei următoare este vizată realizarea activităților de testare și evaluare detaliată.

3.7. Testarea și evaluarea soluției industriale dezvoltate

În această etapă s-au adus îmbunătățiri platformei experimentale de testare, astfel că la momentul redactării acestui document pot fi urmăriți un număr mai mare de parametri într-o varietate extinsă de plajă de valori.

Cu această configurație verificarea și validarea este mai apropiată de condițiile experimentale reale, ceea ce ne conferă facilitarea transferului rezultatelor valide din mediul de laborator în mediul real. În vederea parcurgerii unui număr redus de etape în direcția implementării soluției noastre în mediul industrial real ne-am propus realizarea unui model de experimentare și testare cu caracteristici apropiate de configurațiile industriale: pornind de la dispozitive și mașini reale, continuând cu sursele de semnale relevante.

În baza cazurilor și scenariilor de testare dezvoltare au fost realizate o serie de teste care au vizat diferite scenarii simple, considerând diferite tipuri de regimuri de funcționare, diferite defecte și perturbații cu intensități variate.

Datele obținute urmează să fie selectate și organizate astfel încât să permită includerea lor în setul de date deschis al proiectului.

3.8. Implementare algoritmi pentru detecția defectelor apelând la tehnici de IA

Pornind de la scenariile definite în etapa anterioară, pe parcursul etapei curente de implementare s-au proiectat și implementat o serie de algoritmi destinați identificării defectării senzorilor operaționali cât și a celor de monitorizare pentru implementarea soluției de mentenanță predictivă a mașinilor și utilajelor de producție industrială. Activitatea a presupus mai multe direcții de urmat precum: analiza și identificarea caracteristicilor proceselor vizate a fi utilizate ca sursă de date pentru algoritmi de învățare profundă, care a inclus o serie de subactivități specifice ce au cuprins dezvoltarea și implementarea unor strategii de condiționare, filtrare, vizualizare științifică și etichetare în achizițiile realizate, implementarea algoritmilor, respectiv testare, evaluare și validare formală.

În procesul de proiectare și implementare al algoritmilor propuși ne-am concentrat pe optimizarea funcționării sistemelor de achiziție de date, măsurare și monitorizare în vederea identificării corecte atât a proceselor de defectare în cadrul proceselor monitorizate cât și a defectării senzorilor.

3.9. Sistemul social multiagent: Specificații și arhitectură

Cadrul de cercetare, dezvoltare, testare și validare se centrează pe specificațiile de sistem și arhitectura propusă, prezentată în cadrul Documentului 5.1. livrabil la nivel de proiect intitulat “System and Architecture Specification”. Principiile și o prezentare generală a acestei arhitecturi a fost publicată în cadrul lucrării [Gho21].

4. Rezultate etapă

Secțiunea 2 a prezentat pe scurt rezumatul etapei și principalele rezultate: R.1, R.2, R.3, R.4, R.5(R5.1, R5.2, R5.3, R5.4, R5.5, R5.6), R.6(R6.1., R6.2., R6.3), R.7. Toate rezultatele așteptate au fost îndeplinite cu succes fiind precizat și modul de atingere a realizărilor. De asemenea s-au prezentat inclusiv unele rezultatele științifice specifice obținute care au fost efectiv publicate.

R.1.: Secțiunea 1.2. prezintă obiectivele specifice ale etapei. Activitățile necesare realizării obiectivelor sunt descrise în secțiunea 1.3. Activitățile specifice de implementare a propunerii SOON în Etapa a III-a, au fost desfășurate cu succes conform planului de realizare actualizat. Continuarea implementării soluției propuse se va baza pe o metodologie agilă (agile methodology) [Yli19] datorită complexității propunerii.

R.2.: La toate întâlnirile lunare de discuții din cadrul proiectului cu partenerii de proiect echipa UMFST a făcut prezentări sub formă de rapoarte de progres. (vedeți R.4. din secțiunea 2)

R.3.: a se vedea R.4. din secțiunea 2.

R.5.(R5.1, R5.2, R5.3, R5.4, R5.5, R5.6): sunt detaliate în secțiunea 2.

R.6.(R6.1., R6.2., R6.3): au fost prezentate pe scurt în secțiunea 2. Au fost precizate rezultatele efective obținute, modul de valorificare prin publicare (în publicații care au apărut efectiv și au fost deja și indexate), valoarea publicațiilor. Succint se pot menționa următoarele publicații:

O publicație într-o revistă BDI cu acces deschis.

Un articol publicat în volumul unei conferințe cotate B conform Clasificării CORE a conferințelor.

Un articol cu acces deschis publicat într-o revistă zona roșie, articolul fiind premiat.

Precizăm că în toate etapele precedente s-au înregistrat articole publicate printre altele și în reviste în zona roșie, acestea fiind totodată premiate. Strategia de diseminare propusă pentru etapa următoare include realizarea unei noi serii de publicații reprezentative.

R.7.: Platforma pilot de testare și evaluare soluții IIoT/IIoE pentru mentenanță predictivă a fost extinsă cu succes. Ea constă dintr-un stand experimental cu rol de model fizic al unor clase de procese industriale a căror funcționare se bazează pe acționări electrice trifazate cu turație variabilă. Un punct forte constă în faptul că standul poate fi configurat pentru rularea diferitelor scenarii necesare obținerii unor date diversificate asemănătoare sistemelor reale din industrie. Infrastructura de cercetare dezvoltată permite generarea unei cantități și diversități mari de date, a căror prelucrare se pretează a fi realizată cu algoritmi de IA [Car19, Yan18, Zon20] (de predicție, clasificare, învățare automată etc.).

5. Concluzii referitoare la Etapa III de implementare a proiectului

În Etapa III au fost obținute diverse rezultate în cercetare dintre care unele au fost publicate sub formă de articole și/sau prezentate la conferințe. În acest raport sunt sumarizate rezultatele obținute prezentate în trei articole, R.6.1.[Gho21], R.6.2.[Ian21], R.6.3.[Dob21] care au fost efectiv publicate și indexate. În rezumatul RST-ul actual sunt sintetizate rezultatele incluse în cele trei articole. În

prezent sunt în derulare diverse cercetări și dezvoltări pe baza cărora se urmărește consolidarea rezultatelor obținute în Etapa IV, respectiv obținerea unor noi rezultate valorificabile prin comunicări la conferințe și articole publicate în jurnale.

Colaborarea științifică începută în Etapa I cu membrii echipei FIREMAN a fost continuată și dezvoltată în această ultimă perioadă. Punctele cele mai importante ale acestei colaborări pe lângă cele de natură tehnică și științifică s-au concretizat în participarea la Workshopul virtual “FIREMAN and ee-IOT 2021” - 14 mai 2021, respectiv pregătirile pentru organizarea în perioada următoare (Etapa IV) a celei de-a doua ediții a Workshop-ului Internațional Smart Technologies in Industry 4.0 (RATIONALITY), eveniment coordonat și organizat de echipa UMFST.

Echipa UMFST a îmbunătățit și dezvoltat configurația platformei pilot de testare și evaluare soluții IIoT/IIoE pentru mentenanță predictivă prin noi resurse de calcul, senzori și configurații de testare pentru a facilita cercetările întreprinse prin generarea de date în diverse scenarii utile dezvoltărilor propuse aferente metodelor și algoritmilor bazați pe tehnici de inteligență artificială. Extinderea infrastructurii de cercetare a continuat și în această etapă. O parte a infrastructurii de cercetare este disponibilă pe Platforma ERRIS - uefiscdi.gov.ro: *Center on High-Performance Computations* <https://eiris.eu/ERIF-2100-000H-7254>

Cu scop de comunicare a rezultatelor către părțile interesate din mediul industrial, economic și cel academic, echipa UMFST a participat la activitățile de organizare, și în cadrul secțiunilor științifice ale Conferinței Internaționale Interdisciplinaritatea în Inginerie, 7-8 oct. 2021.

Stabilirea unei noi direcții generale de cercetare și expertiză a unui Centru de cercetare de la UMFST: Proiectul SOON a reprezentat o sursă de inspirație pentru reprofilarea Centrului de Cercetări Avansate în Tehnologia Informației (CCATI) din cadrul universității UMFST, prin includerea unor direcții de cercetare specifice ce țin de Industria 4.0 și fabricația inteligentă. Este în curs de modificare însăși numele Centrului și anume Centru de Cercetare în Inteligența Artificială, Știința Datelor și Inginerie Inteligentă (Artemis).

Achiziția de către universitate a unui laborator de ultimă generație de Industria 4.0: Proiectul reprezintă sursa de inspirație pentru dezvoltarea cu ajutorul unei investiții suportate din veniturile universității a unui laborator de ultimă generație de Industry 4.0. Ansamblul acestor dotări se constituie ca o platformă de testare experimentală pentru educație, cercetare și dezvoltare dedicată pentru I4.0. Aceasta integrează diferite tehnologii, începând de la echipamente de control industrial, senzori industriali, până la dispozitive IIoT și infrastructură de comunicații.

6. Scurt raport despre mobilități și activitatea de diseminare și/sau formare profesională

Participarea la seminarii, mobilități și vizite de lucru

Condițiile deosebite determinate de situația pandemică au persistat pe perioada aferentă desfășurării activităților etapei a III-a, cu toate acestea obiectivele și activitățile specifice propuse acestei etape de raportate au fost realizate cu succes. Situația menționată nu a permis efectuarea anumitor tipuri de activități planificate precum mobilitățile internaționale, vizitele de lucru, participări on-site la conferințe. Mijloacele de comunicare on-line au permis însă menținerea unei colaborări strânse cu toți partenerii proiectului SOON. Lunar în cadrul proiectului au fost organizate întâlniri on-line ordinare cu participarea tuturor partenerilor de proiect completate de întâlniri bilaterale extraordinare restrânse cu diferiți parteneri în vederea soluționării unor obiective comune. Toate aceste aspecte conferă premisa implementării în continuare cu succes a proiectului și în ultima sa etapă.

Participări on-line: Această perioadă de raportare a cuprins două participări la conferințe și două workshop-uri: IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 13-16 Sept. 2021, Helsinki, Finland (clasificată CORE Conference Ranking B), 15th Int. Conf. Interdisciplinarity in Engineering INTER-ENG 2021, Târgu Mureș, 7-8 oct. 2021, Seminariile CHIST-ERA 2021 și Workshopul “FIREMAN and ee-IOT 2021” - 14 mai 2021, Lappeenranta Univ. of Technology, Finlanda.

Participarea la Seminariile CHIST-ERA 2021

A fost posibilă participarea la Seminariile CHIST-ERA 2021, desfășurate pe parcursul a mai multor zile, în format on-line. Echipa proiectului SOON a participat în decursul celor trei zile de desfășurare la toate secțiunile generale și cele dedicate proiectelor aflate în curs de derulare. Aici a existat oportunitatea prezentării stadiului evoluției implementării proiectului, cât și a rezultatelor obținute.

Participarea la Competiția de promovare și diseminare a proiectelor CHIST-ERA 2021

În cadrul evenimentului echipa SOON a participat prin intermediul unui material multimedia de tip prezentare video la concursul “CHIST-ERA Projects Seminar 2021 video contest” (<https://www.chistera.eu/ps2021-video-contest>) destinat popularizării proiectelor CHIST-ERA în derulare către publicul larg. 11–SOON, Posted on Mon, 04/12/2021 - 11:17 Social Network of Machines.

Colaborarea în cercetare între proiectele SOON și FIREMAN

Colaborarea științifică între proiectele SOON și FIREMAN a fost continuată în această perioadă, motivația fiind complementaritatea și unele domenii de cercetare comune existente între cele două proiecte, ce sugerează avantaje benefice în cercetare de ambele părți.

Participarea la Workshop-ul FIREMAN and ee-IOT 2021

În lumina colaborării dezvoltate cu echipa proiectului CHIST-ERA FIREMAN, echipa proiectului SOON a fost invitată la evenimentul cu participare internațională “FIREMAN and ee-IOT 2021” unde s-a prezentat stadiul evoluțiilor celor două proiecte, iar în cadrul programului principal, din partea proiectului SOON unde A. Gligor și E. Gatial au prezentat lucrarea “Soon Social Network Of Machines A Solution For Smart Manufacturing” care a fost extrem de apreciată de auditoriu.

7. Bibliografia selectivă

Realizări ale echipei UMFST

- [Dob21] Dobai, B.M.; Iantovics, L.B.; Paiu, A.: Exploratory Factor Analysis for Identifying Comorbidities as Risk Factors Among Patients with Covid-19, *Acta Marisiensis. Seria Technologica*, 18(1):47-51, 2021. 10.2478/AMSET-2021-0008 (Etapa III)
- [Gli21]Gligor, A.; Gatial, E.: SOON Social Network on Machines a Solution for Smart Manufacturing, *Joint FIREMAN and ee-IoT Virtual Workshop 2021*, May 14, 2021 (Presentation - without publication) <https://sites.google.com/view/ee-iot/virtual-workshop-2021> (Etapa III)
- [Gho21] Ghorbel, H.; Dreyer, J.; Abdalla, F.; Montequin, V.R.; Balogh, Z.; Gatial, E.; Bundinska, I.; Gligor, A.; Iantovics, L.B.; Carrino, S.: SOON: Social Network of Machines to Optimize Task Scheduling in Smart Manufacturing, *2021 IEEE 32nd Annual International Symposium on*

Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 13-16 Sept. 2021, Helsinki, Finland, IEEE CS Press 2021, pp. 1-6, DOI: 10.1109/PIMRC50174.2021.9569644 eISBN:978-1-7281-7586-7. (Etapă III)

- [**Ian19a**] Iantovics, L.B.; Kovács, L.; Rotar, C.: MeasApplInt—a novel intelligence metric for choosing the computing systems able to solve real-life problems with a high intelligence, *Appl. Intell.* 49(10): 3491-3511, 2019. (Etapă precedentă)
- [**Ian19b**] Iantovics, L.B.; Kountchev, R.; Crișan, G.C.: ExtrIntDetect—A New Universal Method for the Identification of Intelligent Cooperative Multiagent Systems with Extreme Intelligence, *Symmetry* 11(9):1123, 2019. (Etapă precedentă)
- [**Ian21**] Iantovics, L.B. Black-Box-Based Mathematical Modelling of Machine Intelligence Measuring, *Mathematics* 9(6):681, 2021. <https://doi.org/10.3390/math9060681> (Etapă III)
- [**WebR**] inter-eng.umfst.ro/2020/index.php?page=workshop&action=rationality (Etapă precedentă)

Literatura de specialitate de referință

- [**Car19**] Carvalho, T.P.; Soares, F.A.; Vita, R.; Francisco, R.P.; Basto, J.P.; Alcalá, S.G.: A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering* 137:106024, 2019.
- [**Cat66**] Cattell, R.B.: The Scree Test For The Number Of Factors, *Multivariate Behavioral Research* 1(2):245-276, 1966.
- [**Cos05**] Costello, A.B.; Osborne, J.: Best Practices in Exploratory Factor Analysis: Four Recommendations for Getting the Most From Your Analysis, Practical Assessment, *Research & Evaluation* 10:1-9, 2005.
- [**Dek05**] Dekking, F.M.; Kraaikamp, C.; Lopuhaä, Hendrik, P.; Meester, L.E. A Modern Introduction to Probability and Statistics. Springer Texts in Statistics. London: Springer London, 2005.
- [**Dum22**] Dumitrescu, E., Hue, S., Hurlin, C., Tokpavi, S. Machine learning for credit scoring: Improving logistic regression with non-linear decision-tree effects, *European Journal of Operational Research*, 297(3):1178-1192, 2022
- [**Far20**] Farooqui, A.; Bengtsson, K.P.; Falkman, M.F.: Towards data-driven approaches in manufacturing: an architecture to collect sequences of operations, *Int. J. of Production Research* 58(16):4947-4963, 2020.
- [**Fea96**] Fears, T.R.; Benichou, J.; Gail, M.H.: A reminder of the fallibility of the Wald statistic. *The American Statistician* 50(3):226-227, 1996.
- [**Gru69**] Grubbs, F.E. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics* 11:1-21, 1969.
- [**Hay04**] Hayton, J.C.; Allen, D.G.; Scarpello, V.: Factor Retention Decisions in Exploratory Factor Analysis: A Tutorial on Parallel Analysis, *Organizational Research Methods* 7(2):191-205, 2004.
- [**Hos13**] Hosmer, D.W.; Lemeshow, S.: Applied Logistic Regression. New York: Wiley. 2013.
- [**Ian18**] Iantovics, L.B.; Rotar, C.; Niazi, M.A.: MetrIntPair—A novel accurate metric for the comparison of two cooperative multiagent systems intelligence based on paired intelligence measurements. *Int. J. Intell. Syst.* 33:463-486, 2018.
- [**Ian18B**] Iantovics, L.B.; Gligor, A.; Niazi, M.A.; Biro, A.I.; Szilagyi, S.M.; Tokody, D.: Review of recent trends in measuring the computing systems intelligence, *BRAIN Broad Res. Artif. Intell. Neurosci.*, 9(2):77-94, 2018.
- [**Kai58**] Kaiser, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis, *Psychometrika* 23(3):187-200, 1958.
- [**Lan20**] Langone, R. Cuzzocrea, A and Skantzos, N Interpretable Anomaly Prediction: Predicting

- anomalous behavior in industry 4.0 settings via regularized logistic regression tools, *Data & Knowledge Engineering* 130:101850, 2020.
- [Liu21] Liu, Z.; Gu, X.Y.; Dong, Q; Tu, S.S.; Li, S.W.: 3D Visualization of Airport Pavement Quality Based on BIM and WebGL Integration, *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements* 147(3): 04021024, 2021. DOI: 10.1061/JPEODX.0000280
- [Mui19] Muis, A.; Auliyaa, A.D.: Comprehensive Digital Instrument Cluster for Vehicle Monitoring by using Flutter Framework, Proceedings of 2019 *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference*, Univ Indonesia, Depok Campus, Depok, Indonesia, NOV 12-14, 2019, IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, IEEE CS Press, pp.110-113, 2019
- [Pre13] Preacher, K.J.; Zhang, G.; Kim, C.; Mels, G.: Choosing the optimal number of factors in exploratory factor analysis: A model selection perspective, *Multivariate Behavioral Research* 48(1):28-56, 2013.
- [Son08] Song, J.; Belin, T.R.: Choosing an appropriate number of factors in factor analysis with incomplete data, *J Comput. Stat. Data Anal.* 52(7):3560-3569, 2008.
- [Stef72] Stefansky, W. Rejecting outliers in factorial designs. *Technometrics* 14:469-479 (1972).
- [Tru19] Trunzer, E.; Calà, A.; Leitão, P.; Gepp, M.; Kinghorst, J.; Lüder, A.; Schauerte, H.; Reiferscheid, M.; Vogel-Heuser, B.: System architectures for Industrie 4.0 applications, Derivation of a generic architecture proposal, *Production Engineering* 13:247–257, 2019.
- [Wod22] Wodyk, S.; Iwanski, G.: Vibrating Coordinates Frame Transformation Based Unity Power Factor Control of a Three-Phase Converter at Grid Voltage Imbalance and Harmonics, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 69(2):1114-1123, 2022.
- [Zer03] Zerbet, A., Nikulin, M. A new statistics for detecting outliers in exponential case, *Communications in Statistics: Theory and Methods* 32:573-584, 2003.
- [Zon20] Zonta, T.; da Costa, C.A.; da Rosa Righi, R.; de Lima, M.J.; da Trenidade, E.S.; Li G.P.: Predictive maintenance in the Industry 4.0: a systematic review. *Comp. & Ind. Eng.* 150:106889, 2020.
- [Yan18] Yan, H.; Wan, J.; Zhang, C.; Tang, S.; Hua, Q.; Wang, Z.: Industrial big data analytics for prediction of remaining useful life based on deep learning. *IEEE Access* 6:17190-17197, 2018.
- [Yli19] Yli-Ojanperä, M.; Sierla, S.; Papakonstantinou, N.; Vyatkin, V.: Adapting an agile manufacturing concept to the reference architecture model industry 4.0: A survey and case study. *J. of Industrial Information Integration* 15:147-160, 2019.
- [Yun17] Yunjin, C.; Jonathan, T.; Robert, T.: Selecting the number of principal components: Estimation of the true rank of a noisy matrix, *The Annals of Statistics*, 45(6):2590-2617, 2017.
- [MqtW] <https://mqt.org/> (data ultimei accesări, 10.10.2021)