

UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII PRIVIND PRELUCRAREA INFORMAȚIEI ȘI A ARHITECTURII REȚELELOR DE SENZORI CU APLICAȚII SPECIALE

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
Prof. univ. dr. ing. mat. POP Emil

DOCTORAND:
Ing. POPA Ionuț- Alin

PETROȘANI
2019

CUPRINS REZUMAT

1. INTRODUCERE.....	Error! Bookmark not defined.
2. MOTIVAȚIA ȘI OBIECTIVUL TEZEI.....	4
3. CUVINTE CHEIE.....	Error! Bookmark not defined.
4. SINTEZA LUCRĂRII.....	5
5. CONCLUZII	13
6. CONTRIBUȚII	14
7. PROPUNERI.....	16
8. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	18

1. INTRODUCERE

În prezent rețelele de senzori WSN au devenit tot mai importante în mai toate domeniile de activitate de la cele casnice până la cele industriale sau strategice. În ceea ce privește structura rețelelor de senzori, se poate observa o serie de dezvoltări tehnologice, deoarece acestea sunt tot mai robuste, mai ieftine, cu adaptări privind modificările topologiei rețelei și la condițiile de mediu.

Rețelele de senzori au la bază tehnologia SCADA tehnologie încă operațională ce oferă operatorului posibilitatea de a colecta informații de la echipamentele aflate la distanță (vane, senzori, pompe, etc.) și de a transmite un set de instrucțiuni limitat către acestea, în scopul monitorizării și comenzii proceselor tehnologice într-o variantă centralizată.

Tehnologia contemporană a WSN dispune de facilități superioare și total diferite față de SCADA astfel: este o soluție industrială stabilă și suport tehnic rapid, flexibilitate în dezvoltarea ulterioară a sistemului pentru a se putea integra în alte sisteme inclusiv cu tehnologia de tip SCADA, soft cloal colaborativ, integrare în mediu, control și monitorizare distribuită și de la distanță, asigurarea utilizatorilor a unui mod de operare facil, crește durata de viață a echipamentelor și a utilajelor printr-o exploatare corespunzătoare (regim automat de operare), diagnosticare rapidă a alarmelor și a avariilor, mentenanță preventivă cât și optimizarea consumurilor/costurilor operaționale etc.

Rețelele WSN își au începuturile în SUA în anul 1980 la Defense Advanced Research Agenția de Proiecte (DARPA) care a pus la punct o aplicație demonstrativă a unui sistem de urmărire a elicopterelor (Myers 1984), folosind o gamă distribuită de microfoane acustice prin intermediul abstractizărilor de semnal, însă senzorii erau destul de mari asemeni unei cutii de încălțăminte și numărul de aplicații era limitat astfel că progresele recente de calcul, comunicare și tehnologia microelectromecanică au provocat o schimbare semnificativă în cercetare și au contribuit la microminiaturizarea senzorilor. Mai mult, nodurile senzorilor au devenit mult mai mici (asemănătoare unui card sau particulelor de praf) și mult mai ieftine ca preț, astfel, că au apărut în domeniul civil noi aplicații ale rețelelor de senzori, cum ar fi monitorizarea mediului, rețeaua de senzori pentru vehicule și rețeaua senzorilor atașați corpului uman.

În Europa rețelele de senzori au apărut la început în martie 2006 de către Agenția Europeană pentru Monitorizare, Evaluare Structurală și Control, având ca obiective realizarea unei rețele de monitorizare și a unei infrastructuri integrate europene până la finele anului 2020. Însă dezvoltările WSN au provocat aplicațiile strategice de tip smart pentru orașe, apă, transport, energie etc și au declanșat apariția unei variante de internet numită "a lucrurilor, obiectelor" *Internet of things (IoT)*, considerat una din marile provocări tehnologice actuale.

Dispozitivele IoT au ca sorginte rețelele wireless de senzori (WSN) extinzând acest concept cu propunerea unor aplicații unde dispozitivele embedded având conexiune la Internet ajută la automatizarea sarcinilor utilizatorului. Așadar dispozitivele IoT au idei în multiple aplicații de la cele obișnuite până la cele speciale.

Termenul internet al lucrurilor a fost elaborat de Kevin Ashton în 1999 și se referă la obiectele identificabile și la cele virtuale, reprezentări într-o structură "similară internetului". Aceste obiecte pot fi orice, de la clădiri mari, plante, industriale, avioane, mașini de orice fel, bunuri, anumite părți ale unui sistem mai mare pentru ființe, animale și plante și chiar părți specifice corpului uman.

Putem spune că WSN reprezintă calea viitorului fiind considerate de drept computere omniprezente în mediu (ubiquitos) și care vor pătrunde în toate domeniile inclusiv în cele sensibile cum este cazul aplicațiilor speciale.

2. MOTIVAȚIA ȘI OBIECTIVUL TEZEI

Motivația tezei de doctorat este legată pe de o parte de asigurarea unor locații sigure pentru personalul ce desfășoară activități în medii potențial periculoase iar pentru domeniul militar găsirea surselor alternative de securitate care pot fi dislocate, configurate respectiv autoconfigurate în orice locație indiferent de conjunctură sau situație.

Obiectivul principal al tezei îl reprezintă contribuții privind prelucrarea informației și a arhitecturii rețelelor de senzori în aplicații speciale cu aplicații în domeniul minier carbonifer subteran și cu o referire specifică la domeniile strategice cum ar fi: energetică, transportul inteligent, apa, orașele inteligente și teatrele de operațiuni militare.

Obiectivul principal de mai sus a fost realizat prin atingerea și a altor obiective specifice cum ar fi:

- necesitatea cercetărilor realizate a pornit de la creșterea constantă în ultimul deceniu a utilizării și a popularității sistemelor de comunicație fără fir și mai ales în mediile în care comunicația cablată nu este posibilă;
- perfecționarea modului de realizare a protecției echipamentelor electrice în mediile cu pericol de explozie respectarea tipurilor de protecții după standardele actuale;
- perfecționarea stadiul actual al controlului și monitorizării proceselor din medii potențial explozive.
- integrarea unei rețele WSN care are capacitatea de a detecta emanațiile de gaze și transmiterea rezultatelor obținute la distanță prin IoT, pentru a se lua măsurile eliminării unui dezastru.
- proiectarea unei rețele de senzori ad-hoc care se poate autoconfigura pentru atmosfere explozive, compatibil funcțional cu mediile de transmisie la distanță;
- valorificarea cercetării s-a făcut prin susținerea și publicarea unor lucrări, în proceeding-urile unor conferințe/simpozioane și validarea prin modelare/simulare și prototipare pe platforma Arduino.

3. CUVINTE CHEIE

Din titlul tezei de doctorat, *Contribuții privind prelucrarea informației și a arhitecturii rețelelor de senzori cu aplicații speciale*, deriva câteva cuvinte cheie și care au dat o direcție specifică acestei cercetării.

Acestea sunt: *prelucrarea informației, rețele de senzori fără fir (WSN), control, parametrii de transmisie, modelare/simulare, aplicații speciale, experimentări*. În principiu este vorba de a realiza sisteme de detecție, monitorizare și control pentru sisteme și procese care prin specificul lor se desfășoară în locații în care personalul poate fi afectat negativ, din punctul de vedere al sănătății și securității muncii, prin accidente. Acestea sunt Locații cu potențial de accidente, iar în cazul prezent a unor amestecuri de gaze explozive de exemplu metan, acestea numindu-se Locații potențial explozive. Activitățile sunt permise numai în Locații sigure, fără nici un risc. În cadrul acestei teze se analizează, folosind metode matematice, de modelare/simulare și experimentare posibilitățile de a transforma Locațiile cu potențial exploziv în Locații sigure utilizând rețele WSN.

4. SINTEZA LUCRĂRII

Structura tezei conține 6 capitole, având o Introducere, un capitol de Concluzii, contribuții și propuneri, totalizând 165 pagini, dintre care 120 pagini reprezintă teza propriu zisă și 45 pagini reprezintă Bibliografia și Anexele. Bibliografia are 81 poziții iar Anexa contribuie la o înțelegere mai bună a tezei și obiectivelor sale.

Primul capitol, intitulat „Introducere” se prezintă considerente generale, obiectivele principale, motivația tezei și o scurtă trecere în revistă a lucrării așa cum am prezentat mai sus. Senzorii sunt dispozitive de natură tehnică care au posibilitatea de a strânge informații despre sisteme sau procese fizice. Aceștia pot să acționeze în diferite medii: în cel subteran, în interiorul clădirilor, în spațiul liber, în medii agresive sau cu accesibilitate grea, în apă sau sub apă.

În viitorul apropiat rețelele de senzori WSN vor deveni tot mai importante în mai toate domeniile de activitate de la cele casnice până la cele industriale sau strategice.

O problemă de mare importanță apărută în ultimii ani se referă la creșterea securității și siguranței personalului care desfășoară activități în medii potențial agresive cum este cazul în domeniile: chimie, minerit, militar, petrolier, construcții etc. Activitățile personalului trebuie să fie admise doar dacă mediul de lucru este sigur. Aceste domenii reprezintă aplicații speciale ale rețelelor WSN.

Capitolul 2, „Stadiul actual al dezvoltării rețelelor de senzori wireless”, prezintă la început o scurtă evoluție și dezvoltare a rețelelor de senzori fără fir (wireless sensor networks-WSN) ca și computere omniprezente în mediu (ubiquitous). Rețelele de senzori fără fir (Networks sensor wireless) sau pe scurt WSN fac parte din categoria *sistemelor de calcul distribuite omniprezente* (Ubiquitous computing) și au fost introduse de către Mark Weiser sub acronimul UbiComp în anul 1991.

Știința din zilele noastre a creat un domeniu relativ nou și extrem de interesant - sistemele cu inteligență artificială. Precursorul acestora este considerat Norbert Wiener *părintele ciberneticii* care având la bază formația universitară în domeniile matematică, biologie și filosofie, a reușit să formeze un nou domeniu devenit metaștiință intitulat *Cibernetică sau știința controlului și comunicației în mașini și organisme vii*. Este bine să amintim aici de românul Ștefan Odobleja care înaintea lui Wiener a publicat în limba franceză cartea *Psihologia*

consonantistă în care se prezentau principiile ciberneticii, fiind considerat pe drept cuvânt precursorul ciberneticii. Se poate considera ca WSN sunt o clasă de senzori cooperanți dotați cu software ce le oferă o calitate aparte anume „un nivel de inteligență artificială”.

Astfel în acest capitol sunt prezentate la început aplicațiile clasice legate în principal de monitorizarea dezastrelor și apoi câteva din aplicațiile strategice inteligente (smart) ale WSN și anume: Rețeaua electrică inteligentă, Transportul urban inteligent, Rețelele inteligente de apă, Casele inteligente și Războiul centrat pe rețea, cu avantajele și provocările pe care le implică. Una din aplicațiile speciale la care se referă teza o reprezintă locațiile cu „Atmosfere potențial explozive” cum este cazul în chimie, minerit, armată etc.

Astfel în minele cu atmosfere explozive se folosește de zeci de ani un sistem SCADA de control și monitorizare a parametrilor atmosferei din subteran denumită centrală tele-grizumetrică (Telemetry Central). De precizat că SCADA are posibilitatea să transmită informații atât prin cablu cât și prin radio la distanțe mari. Toate aceste sisteme au o caracteristică comună: controlul și prelucrarea datelor se face centralizat necesitând resurse hardware și software foarte costisitoare mari consumatoare de energie și nu realizează în totalitate siguranță.

Ca structură WSN sunt constituite din noduri. Un nod are ca structura 4 componente de bază: senzori de mediu, microcontroler cu memorie de date și program, interfață de comunicare wireless, sursă de alimentare. Nodurile fără senzori au calitatea de *ruter* amplificând semnalele și marind astfel distanța de emisie.

Un prim exemplu de nod a fost sistemul MICA mote, dezvoltat la Universitatea Berkely, de mărimea unei cutii de chibrituri având procesor Atmega, distanța de transmitere 40 m, senzori de lumină, temperatură, seismici, accelerație, acustic și magnetic cu sursă 2 baterii AA suficiente pentru câteva luni. Utilizează sistemul de operare TOS.

În anul 2001 a fost lansat conceptul de Smart Dust (Praf inteligent) constând din milioane de senzori de dimensiune milimetrică care se lansează în mediu pentru a monitoriza diferite fenomene. Fiecare microdispozitiv are toate cele 4 elemente de structura unui nod, pot pluti în aer, se pot încadra în tencuiala clădirilor, se configurează și întrețin singure.

A devenit un standard, familia ZIGBEE cu variantele XBEE, destinată să echipeze rețelele de senzori pentru monitorizarea și controlul spațiilor din clădiri și nu numai. Pe lângă acestea tehnologia ARDUINO oferă module accesibile ca preț și configurare pentru testarea de aplicații cu rețele de senzori, fiind o platforma utilă în etapa de prototipare experimentare.

Sistemele de operare și limbajele de programare folosite de WSN reprezintă o categorie extinsă de produse informatice denumite Middleware asigurând lucrul cu senzorii din mediu și oferă o infrastructură pentru aplicații interoperabile. Dintre acestea amintim: SensorWare, DSWare, TOS, MAC etc. În general, limbajele de programare folosite de către WSN sunt restricții ale limbajelor clasice: C, C++, BASIC, JAVA etc.

Dezvoltarea WSN-urilor a pornit ca aplicații în domeniul militar în SUA, în special supravegherea în zonele de conflict, când SUA a solicitat Agenției pentru Proiecte de Cercetare (DARPA) să pună la punct producția de rețele distribuite de senzori (DSNs) pentru armata americană. O listă mai extinsă de aplicații este dată mai jos.

Aplicații WSN obișnuite (clasice):

- detecția dezastrelor
- controlul calității mediului
- controlul ecologic pentru așa numita geomapare a biodiversității în anumite habitate
- supraveghere a stresului mecanic la clădiri din zonele cu activitate seismică

Aplicații WSN strategice:

- realizarea rețelei electrice inteligente
- sistem de monitorizare online pentru transportul inteligent
- aplicații WSN în monitorizarea rețelelor inteligente de apă
- logistica orașului
- aplicații WSN pentru case inteligente

Aplicații WSN speciale:

-monitorizarea locațiilor potențial explozive

Această aplicație este încă la început și este tratată în amănunt în prezenta teză.

- Războiul centrat pe rețea (Network Centric Warfare - NCW), termenul de operațiuni centrate pe rețea se referă la operațiunile militare, operațiunile activate prin rețeaua de forță militară.

Intrucât dezvoltarea WSN-urilor s-a făcut plecând de aici vom prezenta câteva elemente ale acesteia.

NCW este strategia nouă în domeniul militar în care aplicațiile speciale ale WSN sunt folosite din plin începând cu soldatul (viitorului, universal), continuând cu tehnica militară și Centrul de comandă. Echipamentul luptătorului va fi realizat după tehnologii avansate, stratul exterior va fi izolant termic și impermeabil, își va putea schimba culoarea în funcție de mediul în care se află luptătorul. Suprafața costumului va fi tratată cu nanoparticule de nanotuburi de carbon, astfel se crede că vor putea detecta apropierea glonțului, generând câmp electric scut ce va opri sau devia proiectilul, întregul corp și mai ales organele vitale fiind protejate. Casca militarului este și aceasta performantă, având integrată masca de gaze care se adaptează după noxele sau germeni detectați, camere stereoscopice de vedere noaptea, imagini și date tactice proiectate în interiorul vizetei rezistente la intemperii și șocuri, comunicații via-satelit înalt securizate, comenzi vocale pentru alte aplicații instalate.

- Varianta germană a *Soldatului viitorului* denumit Gladius.

Furnizată de compania Rheinemetall a fost interesată de un parteneriat cu o firmă românească, pentru ca asemenea echipamente să fie produse și pentru forțele de infanterie ale armatei române. Gladius îl ajută pe infanterist să identifice mult mai precis țintele, ceea ce este vital pentru propria protecție, dar și a populației civile. Sistemul este modular, nu îl supraîncarcă, iar consumul de energie este minim. Protecția balistică a echipamentului ajunge la nivelul 4, potrivit standardelor militare germane.

Punctele forte sunt casca și așa-numita "coloană vertebrală electronică" - un computer purtat în spate de soldat care controlează celelalte subsisteme și senzorii din echipament, oferind soldatului informații privind situația lui actuală și despre poziția forțelor aliate.

- Conceptul de *Soldat universal* a fost lansat de Pentagon și constituie o dezvoltare a Soldatului viitorului lansată de *Agencia de cercetare avansată în apărare* folosind manipularea genetică.

Astfel se dorește crearea prin manipulare genetică a soldatului perfect capabil să reziste zile în șir fără hrană sau somn, să alerge la fel de repede precum campionii olimpici și chiar să își regenereze membrele pierdute în luptă. Unul din primele sale proiecte a fost realizarea unui exoschelet care să permită soldaților să alerge foarte repede și să poată căra greutatea enormă.

Mutațiile genetice vizează capacitatea organismului de a transforma grăsimea în energie și de a rezista zile în șir fără mâncare. Lucrul șocant este însă posibilitatea organelor de a crește la loc înlocuind membrele pierdute în luptă. Agenția a cheltuit mulți bani pentru a afla care genă poate declanșa acest fenomen de regenerare și au studiat deja cazuri în care degetele tăiate ale unor copii au crescut la loc.

- În România un lucru important îl reprezintă Centrul de excelență de specialitate care este responsabil cu simularea operațiilor de luptă al Forțelor Terestre (CILFT).

CILFT dispune de simulare în timp real, simulare virtuală VBS2 și simulare constructivă JCATS. CILFT asigură instruirea militarilor folosind diversele tipuri de simulare dar poate realiza integrarea lor în așa zisele federații de simulare LVC. În ultimul caz se pot desfășura exerciții distribuite la nivel brigadă. Soldatului viitorului în *variante germană* va putea constitui un punct de plecare pentru echiparea forțelor de infanterie ale armatei române.

În finalul capitolului sunt enumerați principalele tipuri de senzori din nodurile WSN pentru aplicații speciale și anume:

- Senzorul de calitate aer SGP30;
- Senzorul de Gaz MQ-2;
- Senzorul de metan MQ-4;
- Senzorul de mișcare și de vibrații;
- Senzori de temperatură;
- Senzor de viteză inductiv;
- Senzori de prezență și presiune;
- Senzori de curent, tensiune, proximitate;
- NI-WSN, Nod multiplu WSN.

Capitolul 3 se numește „Aplicații speciale ale Rețelelor de senzori fără fir-WSN”, în acest capitol se prezintă la început o scurtă definiție a conceptului “aplicații speciale”ca fiind “utilizarea WSN în zone cu potențial de accidente în scopul asigurării unor locații de muncă sigure”. Asemenea zone sunt cele cu potențial exploziv: minier, petrolier, chimic, alimentar, marin militar, etc.

Caracterizarea unei locații cu potențial agresiv se face prin trei condiții ce definesc triunghiul accidentelor:

1. Dacă mediul facilitează producerea accidentelor;
2. Dacă există condiții de desfășurare a evenimentelor;
3. Dacă există surse care pot iniția producerea accidentelor;

Particularizat pentru mineritul carbonifer acesta se numește triunghiul de foc al exploziilor. Sunt definite apoi zona sigură, zona cu potențial exploziv, zona cu risc de explozie. Se arată modul în care o zonă cu potențial exploziv se transformă într-o zonă sigură utilizând echipamente cu siguranță intrinsecă, dispozitive de control la distanță cu siguranță pozitivă și monitorizarea atmosferei explozive prin sisteme SCADA și mai nou WSN. În finalul capitolului se enumeră calitățile rețelelor WSN care le fac utile în aplicații de monitorizare și control în mineritul subteran carbonifer, cu aplicație la distribuirea rețelelor WSN în abataj.

Transformarea locației cu potențial exploziv într-o locație sigură se face prin două acțiuni astfel:

- Eliminarea oricăror surse de inițiere a exploziei.
- Menținerea procentului de metan în aerul locației sub 1%, procent care este nepericulos.

Prima condiție este asigurată prin folosirea echipamentelor în construcție antiexplozivă iar a doua prin aerajul locațiilor și controlul permanent a procentului de metan.

O singură problemă rămâne sensibilă și anume comunicația între echipamente și personal care trebuie să se facă prin dispozitive cu protecție intrinsecă și siguranță pozitivă.

Un exemplu de acest fel este dispozitivul de control la distanță cu protecție intrinsecă și siguranță pozitivă și care, așa cum este prezentat și în teză, se poate realiza prin software.

Referitor la aplicațiile speciale din minele carbonifere, în teză se prezintă la început condițiile geologico-miniere de extragere a cărbunelui, locația numindu-se abataj, și care se face prin diverse metodele de exploatare cum ar fi:

- exploatarea în felii;
- exploatarea cu perforare-puşcare;
- cu subminare.

Metanul numit și gaz de mină este prezent în stratele de cărbune dar și în rocile înconjurătoare, ajungând în locațiile de muncă din subteran odată cu exploatarea și reprezintă un pericol permanent, mai ales dacă se acumulează în concentrații inflamabile sau explozive. Metanul chimic pur este un gaz incolor, inodor și insipid, nefiind detectat de simțurile omului. Temperatura de aprindere a metanului este destul de mică, 650 – 750 °C și se reduce drastic în cazul amestecului cu aerul. În acest sens degajările de gaze care ar putea crea o atmosferă explozivă trebuie controlate și menținute într-un procent admis ca nepericulos iar echipamentele, instalațiile și utilajele să fie în construcție antiexplozivă și controlate periodic.

Avantajele WSN care le fac foarte utile în aplicații speciale inclusiv în subteran sunt:

- WSN formează o buclă de control cu lumea reală;
- WSN sunt o mulțime de noduri simple care cooperează între ele ca un tot unitar;
- Nodurile WSN prelucrează datele mediului integrând și experiența umană cu lumea reală;
- Nodurile funcționează pe principiul conservării energiei;
- WSN sunt localizate automat în spațiu și sincronizate în timp real;
- WSN sunt platforme “tired architecture”, ca un compromis la nivel local/nivel global

Așa cum am prezentat anterior soluția propusă în această capitol este: utilizarea combinată a rețelelor de senzori cu sistemul de scanare SCADA.

De altfel unele companii miniere au anunțat că sunt în fază avansată de implementare a rețelelor de senzori în minerit astfel că am prezentat o realizare produsă ca prototip de către compania MST din Australia.

WSN este alcătuită din două componente principale: unitatea de telemetrie la distanță (RTU) și portul de conexiune cu rețeaua network a minei denumit gateway. RTU-urile formează propria rețea WSN pe frecvența 802.15.4 Hz.

Capitolul este în mare parte original, unele concepte și exemplificări au fost publicate de autor în jurnale de prestigiu și Proceedings ISI, indexabile în Thomson Reuter/Web of Science.

Cel de-al 4-lea capitol se intitulează „Modelarea și simularea aplicațiilor speciale cu Rețele de senzori fără fir”.

În acest capitol se prezintă la început algoritmul de modelare-simulare pentru aplicațiile speciale de utilizare a rețelelor de senzori WSN.

În cazul utilizării WSN în aplicații speciale este necesar să existe platforme de modelare/simulare capabile să realizeze următoarele:

- Proiectarea configurației locației cu potențial de accidente;
- Configurarea senzorilor individuali-SCADA (daca există) și a WSN;
- Stabilirea traseelor periculoase și instalarea rețelelor WSN;
- Reglarea parametrilor senzorilor din rețelele WSN;
- Programarea rețelelor;
- Simularea și extragerea rezultatelor;

Dintre platformele de modelare-simulare CupCarbon reprezintă una dintre cele mai complete și performante produse software.

În prezenta lucrare s-a utilizat platforma de modelare-simulare CupCarbon care a fost prezentată în continuare pe scurt, cu exemplificare pe un caz concret și anume extracția cărbunelui dintr-un abataj.

CupCarbon reprezintă rezultatul proiectului francez ANR PERSEPTEUR care are ca scop dezvoltarea algoritmilor pentru simularea aplicațiilor WSN într-un mediu 3D.

Rețelele pot fi proiectate și prototipate printr-o interfață ergonomică ușor de utilizat, utilizând aplicația grafică OpenStreetMap (OSM).

Consumul de energie poate fi calculat și afișat în funcție de timpul simulat.

Interfața grafică utilizator CupCarbon este compusă din cinci părți principale:

- Harta locației
- Bara meniu
- Bara instrumente
- Panoul parametri
- Consola

SenScript este utilitarul folosit pentru a scrie programe necesare funcționării nodurilor de senzori ale simulatorului CupCarbon, limbajul folosit este o prelucrare simplificată după Java script. În continuare am prezentat un exemplu de modelare/simulare în cazul unui abataj classic cu combină și transportor astfel că o asemenea abordare limitează riscul de accidente la nivel

global prin sistemul de scanare SCADA a senzorilor S și asigură o locație mai sigură la nivel local prin rețeaua WSN a senzorilor W.

Modelul este conceput să simuleze scenariul descris în continuare.

Dacă se detectează metanul, senzorul adecvat procesează datele de informare a celorlalți senzori WSN și trimite la senzorul receptor sinteza situației.

Desigur, în situații periculoase, sistemul Scada și WSN vor reacționa prin activarea feedback-ului pentru a întrerupe energia electrică izolând spațiul periculos.

La sfârșit se simulează modelul pentru obținerea rezultatelor și se poate genera cod Arduino pentru testarea practică.

O astfel de abordare limitează riscul accidentelor prin sistemul de scanare SCADA al senzorilor S și asigură o locație mai sigură la nivel local prin rețeaua WSN a senzorilor W.

Modelarea / simularea a fost implementată pe platforma CupCarbon după cum urmează:

- lumea reală a amplasamentului minier a fost proiectată pe baza modelului tehnologic prezentat împreună cu senzorii SCADA S ;
- pe baza experienței umane, s-a determinat metanul din spațiul liber , frontul cărbunelui , buncărul și transportorul .
- a fost introdus un element mobil, ce simulează evoluția metanului, care rulează pe calea evoluției metanului;
- au fost introduși trei senzori nod de metan WSN W_i ($i = 1, 2, 3$) aranjați într-o topologie stea și care transmit fiecare către un router intermediar și unul final care apoi se conectează la receiverul gateway conectat la IoT.

Rezultatele simulării sunt prezentate pentru două situații: mai întâi când senzorul intermediar detectează metanul din masivul de cărbune după tăierea cu combină și cel de-al doilea atunci când se infiltrază metan de la buncăr și transportorul cu bandă. Cei doi senzori sunt programați să recepționeze date din mediul de lucru, să coopereze și să le transmită receptorului final al gateway-ului. Receptorul este programat pentru a prelua datele și a le încărca pe internet.

Astfel, managerii de proces și coordonatorii primesc informații în timp real și decid ce măsuri trebuie să aplice în vederea asigurării unui regim de lucru sigur. În cele din urmă, modelul pentru rezultatele simulării este rulat și codul este generat pentru implementare pe platforma Arduino.

În teză se observă implementarea realizată cu tehnologia Arduino pentru 3 senzori-noduri de gaz WSN împreună cu 2 rutere și un receiver-gateway pentru fiecare nod, în total 6 rutere și 3 gateway. Receiver-le Gateway de conexiune la IoT sau internet, pot avea toate 3 canale în același dispozitiv final .

În capitolul 5 „Aplicații speciale și experimentări privind utilizarea rețelelor de senzori fără fir”, se prezintă la început câteva aplicații și experimentări de prototipare cu WSN cum sunt realizarea nodurilor cu senzori de metan, a transceiver-ului ca element de transmisie/recepție prin radio folosind platforma Arduino și un program de comunicații scris în limbajul C/C++.

Acest capitol este în mare parte original și contribuie la validarea rezultatelor teoretice prezentate în teza de doctorat.

S-a plecat de la schema bloc generală a unui nod terminal WSN constând din: Senzori de mediu

Microcontroller și memorie, Radio pe chip și Antenă, Sursa de alimentare, Porturi intrare/ieșire.

Pentru aplicația cu WSN pentru domeniul special minierul subteran, utilizând dispozitive existente pe piață cum ar fi senzori, elemente de circuit, plăci dedicate produse de Arduino etc.

S-a utilizat Platforma Arduino astfel:

- s-a ales senzorul de gaz și interfața de conectare la Arduino;
- s-a utilizat placa Arduino care are Software de programare online limbajul C cu adaptare pentru citirea, scrierea porturilor și realizarea comunicației prin radio;
- s-a ales și utilizat o placă adecvată pentru Radio și Antenă.
- s-a ales modulul wireless care are în componență circuitul integrat nRF24L01 lucrează în banda standard ISM de 2.4 GHz, fiind capabil de viteze de transfer de până la 2 Mbps, poate trimite și recepționează date din spațiu liber până la distanțe de 150 m.

Pentru experimentare s-au proiectat interfețe de conexiune cu placa de bază Arduino, atât pentru senzori cât și pentru radio, pe aceste interfețe s-a reușit conectarea mai multor tipuri de senzori (de gaz, mișcare, vibrație etc), fără a avea pierderi în transmisie sau erori.

Mai departe aceste routere vor comunica prin radio pe diferite canale fără a fi perturbate până la nodul principal de recepție, care are o echipare mai complexă, astfel:

- un arduino nano care preia datele de la nodurile senzor și alte routere;
- un arduino uno echipat cu shield ethernet pentru conexiunea la internet (gateway);
- pentru conectarea la interfața web s-a folosit un adaptor realizat ca shield conectat la un router de internet pentru a genera o pagină de web, aceste module pot funcționa și offline unde putem vizualiza starea parametrilor de intrare fără a accesa pagina web direct de la o stație de lucru.

Având două sau mai multe Arduino se poate comunica unul cu altul fără fir pe o distanță mare și cu viteza de transmisie de 2Mb/s. Se pot atașa pe un modul Arduino și alte tipuri de senzori: de distanță, temperatură, vibrație, mișcare cu care putem monitoriza de la distanță diverse activități din subteran și trimite rezultatele centralizat printr-o comunicare IP prin IoT.

Tot în acest capitol s-a tratat o aplicație originală *Analiza statistico-probabilistică a producerii exploziilor rare catastrofale, folosind Legea numerelor mari*, care va fi prezentată în continuare.

Investigațiile privind accidentele și cercetarea mediului minier subteran și a fenomenelor geologice au concluzionat că monitorizarea sistematică în timp real, precum și menținerea siguranței mașinilor și instalațiilor, este o modalitate bună de a preveni accidentele și dezastrele. Aceste sisteme au redus mult pericolele de explozie dar nu le-au înlăturat în totalitate astfel că din nefericire se mai produc încă accidente.

Cele de mai sus arată că în exploatarea minieră subterană inclusiv în abataj, pot exista “Câmpuri de evenimente probabilistice” în care se aplică Legea de probabilitate Bernoulli, cunoscută sub denumirea “Legea numerelor mari”.

Din punct de vedere practic: *Legea numerelor mari afirmă că aproape sigur se va produce un anumit eveniment rar, influențat de un număr arbitrar dar foarte mare de alte evenimente elementare, din care o parte sunt favorabile, chiar dacă fiecare dintre ele au o influență minoră asupra fenomenului considerat în ansamblu.*

Spre exemplu experimentul de aruncare a unei monede de n ori și înregistrarea numărului de apariții a „stemei” m , conduce la valoarea $m/n = 1/2$ dacă n este suficient de mare. Experimentul realizat de Pearson care a aruncat o monedă de peste 11500 de ori ($n=11500$) și a obținut stema de peste 6000 ($m=6000$). A rezultat o frecvență de $m/n = 0.5217$, apropiată de probabilitatea 0.5.

Capitolul 6 „ Concluzii, contribuții și propuneri” pune în valoare concluziile, contribuțiile și unele propuneri, referitoare la îmbunătățirea arhitecturii rețelelor de senzori cu aplicații speciale, inclusiv la posibilitatea folosirii acestora în cazul unui conflict armat.

5. CONCLUZII

Necesitatea utilizării rețelor de senzori descrise cât și prelucrarea informației este justificată prin creșterea nivelului tehnologic și de siguranță în toate domeniile dar mai ales în cele cu activități speciale. Actual există foarte multe rețele de senzori care diagnostichează mare parte din devierile de la limita normală a diferitelor procese cum este cazul monitorizării dezastrelor, a producerii calamităților naturale, a sistemelor militare. În cazul industriilor cu atmosfere potențial explozive cum este cazul mineritului carbonifer subteran problema este chiar la început. Legea numerelor mari indică posibilitatea prevenirii sau chiar eliminării catastrofelor dacă se alege o strategie adecvată iar WSN ar putea favoriza acest lucru.

În cazul anumitor procese miniere din subteran prin utilizarea WSN s-ar obține: realizarea și utilizarea unor sisteme de automatizare mai compacte și robuste prin eliminarea cablurilor lungi de conexiune (wire) clasice; propunerea unei strategii de comandă și control bazată pe WSN; utilizarea unor echipamente cu protecție intrinsecă software, resetarea desfășurării ciclului de evenimente probabilistic care are ca final unul catastrofic.

Aceste cunoștințe au fost dobândite în cadrul Departamentului de Automatică, Calculatoare, Inginerie Electrică și Energetică al Universității din Petroșani, Facultatea de Inginerie Mecanică și Electrică. La aceste cunoștințe se mai adaugă și cei peste 12 ani de activitate în cadrul Ministerului Apărării Naționale, respectiv Serviciul de Telecomunicații Speciale.

Sistemului informatic propus aduce o nouă abordare a utilizării rețelelor inteligente de senzori WSN pentru domenii speciale, cu capacități de detecție mari accesibile ca preț și care pot contribui la facilitarea utilizării wireless pe de o parte și a asigurării locațiilor sigure pe de altă parte. Abordarea clasică constă în faptul că informația este transmisă spre/înspre proces prin un număr mare de cabluri și care necesită folosirea de echipamente complicate, costisitoare și chiar grele care afectează mai ales siguranța și securitatea activităților, creând câmpuri de evenimente probabile periculoase, care conform Legii numerelor mari, pot conduce la accidente catastrofale.

S-a avut în vedere și faptul ca rețelele de senzori trebuie să fie cât mai accesibile ca preț, să aibă capacitate mare de transmisie, să fie ușor scalabile și reconfigurabile. Necesitatea rețelei de

senzori descrisă cât și prelucrarea informației este justificată prin creșterea nivelului tehnologic în toate sistemele la nivel mondial. Acest lucru este justificabil dacă se ține cont de faptul că rețelele de senzori sunt în continuă cercetare și dezvoltare, fiecare aport fiind un progres spre cele descrise mai sus.

Obiectivul principal al tezei se exprimă astfel : **Contribuții privind prelucrarea informației și a arhitecturii rețelelor de senzori cu aplicații speciale.**

Actual există foarte multe rețele de senzori care diagnostichează mare parte din devierile de la limita normală a diferitelor procese. Acestea au fost aplicate pe scară largă în teatrele de operații militare, apoi la supraveghere producerii calamităților naturale iar actual au început să fie aplicate și în cazul industriilor cu atmosfere potențial explozive, cum este cazul industriei miniere subterane unde prezenta teză este prima abordare la noi în țară de acest fel. Aceasta este principala motivație privind realizarea unui sistem bazat pe rețele WSN ad-hoc programabile folosind chiar PLC-uri în construcție antiexplozivă având porturi cu siguranță intrinsecă prin software, care pot deservi în subteran pentru monitorizarea și controlul atmosferei potențial explozive sau în teren pentru detecția intruziunilor, a mișcărilor de trupe inamice sau terorism și transmiterea informațiilor la distanță spre Centrele de decizie, cu ajutorul comunicațiilor wireless moderne.

S-a recurs la metode moderne de modelare și simulare, în vederea analizării, perfecționării și validării rezultatelor utilizării rețelei create, odată cu optimizarea parametrilor modelelor de automatizare. S-a utilizat în acest sens platforma Cupcarbon. Monitorizarea se face folosind un program scris în limbajul C/ C++.

Cele prezentate mai sus justifică impunerea realizării unei rețele de senzori ad-hoc care să poată fi utilizată atât pentru medii potențial explozive cât și pentru alte domenii speciale cum ar fi sistemele de detecție precoce a calamităților naturale sau chiar în aplicațiile militare moderne.

La realizarea tezei de doctorat s-au utilizat platforme Arduino Uno, Arduino Mega, module de transmisie NRF 24 L01, senzori PIR, senzori de vibrație, senzori de gaz și fum MQ-2, 4.

Aceste echipamente au fost folosite pentru prototiparea unei platforme experimentale, solide lipsite de erori care se poate autoconfigura în funcție de mediul în care este folosită. În lucrarea de față s-a prezentat și simularea unor procese caracteristice atmosferei potențial explozive și anume:

- comanda la distanță prin PLC cu porturi cu siguranță intrinsecă și pozitivă prin software pentru funcționarea în subteran;
- simularea unei aplicații complexe cu ajutorul platformei Cupcarbon;
- necesitatea unei rețele ad-hoc în medii cu potențial exploziv ;

Actualitatea și justificarea temei

Calitățile rețelelor WSN, flexibilitatea arhitecturii, modelarea și simularea acestora, programarea la nivel local și posibilitatea integrării experienței umane etc, ne arată potențialul

semnificativ pe care acestea îl au în aplicații în general și în cele speciale în particular, contribuind din plin și pentru o dezvoltare durabilă și sustenabilă. Acestea susțin necesitatea cunoașterii cât mai bine a domeniului, justifică motivația, actualitatea, stabilirea principalelor obiective, alegerea temei, *Prelucrarea informației și arhitecturii rețelei de senzori cu aplicații speciale*.

6. CONTRIBUȚII

În cele ce urmează vom prezenta o listă cu principalele contribuții rezultate în urma cercetării efectuate pentru realizarea tezei cu titlul: *Contribuții privind prelucrarea Informației și a Arhitecturii Rețelelor de Senzori cu Aplicații Speciale*.

- Realizarea unei cercetări bibliografice de documentare în domeniul senzorilor din noduri și al rețelelor WSN, în vederea stabilirii nivelului de realizare și aplicațiile acestora. Astfel s-au putut aprecia posibilitățile de introducere a rețelelor WSN și alegerea strategiei de aplicare și în domenii speciale, în particular mineritul carbonifer subteran.
- Definierea riguroasă a unor concepte, utilizate în cercetarea din cadrul lucrării, cum sunt: Aplicații speciale, Triunghiul accidentelor din care derivă Triunghiul exploziilor, Locație cu potențial exploziv, Locație cu risc de explozie, Locație sigură, Siguranță intrinsecă, Siguranță pozitivă, Bariera de siguranță etc.
- Enunțarea principiului care generează explozia în locații potențial explozive astfel: *Coincidența dintre Atmosfera explozivă și Sursa de energie de inițiere a exploziei*, definirea și justificarea matematică prin Legea numerelor mari, a două strategii de prevenire a acestora, *Strategia deterministă și Strategia probabilistă*.
- Definierea și utilizarea conceptului de *protecție intrinsecă și siguranță pozitivă controlat prin software* și exemplificarea în cazul folosirii unui PLC.
- Justificarea Strategiei deterministe și a limitelor sale, folosită cu precădere în subteran care constă în următoarele: Măsuri severe de îndepărtare a metanului luate prin ventilație, menținând o limită inferioară non-periculoasă, atmosfera fiind monitorizată prin scanare continuă printr-un sistem SCADA centralizat. Similar, eliminarea oricăror surse de aprindere iar echipamentele și instalațiile fiind inspectate periodic pentru a menține standardele de siguranță nealterate. Această strategie a dus la eliminarea exploziilor pentru lungă durată, dar nu le-au eliminat complet.

- Definierea Câmpului de fenomene probabile, unde pot apărea evenimente care justifică strategia probabilistică astfel: Complexitatea proceselor subterane, densitatea echipamentelor, spațiul de lucru îngust, fenomenele naturale greu de evitat, imperfecțiunile unor mașini, funcționarea necolaborativă a sistemului de scanare SCADA, care permite existența unor încălcări de securitate între detectoare, nefolosirea experienței umane sau unele erori umane etc. Fenomenele aleatoare se tratează prin "Legile hazardului", dintre care aici s-au folosit: *Clopotul lui Gauss și Legea numerelor mari*.
- Definierea Strategiei probabilistice rezultă din Legile hazardului astfel: *Într-o locație cu potențial exploziv chiar securizată, dacă există un câmp de evenimente probabile se poate produce un eveniment rar accidental (explozie) dacă se realizează un număr suficient de mare de încercări n din care m ($m \geq 1$) încercări reușite*. Această abordare permite extinderea siguranței personalului peste limitele strategiei deterministe.
- Stabilirea modului de aplicare a Strategiilor în cazul unui abataj de exploatare a cărbunelui, folosind combina transportoare și sistemul SCADA combinat cu rețele WSN.
- Stabilirea Algoritmului de modelare/simulare și aplicarea Platformei de modelare/simulare CupCarbon pentru cazul exploatării cărbunelui în subteran .
- Identificarea calităților rețelelor WSN care le fac utile în aplicații speciale dintre care amintim: Rețeaua este o mulțime de noduri simple care cooperează între ele ca un tot unitar; Prelucreează datele mediului integrând și experiența umană cu lumea reală; Nodurile funcționează pe principiul conservării energiei; Sunt localizate automat în spațiu, sincronizate în timp real și autoconfigurabile.
- Realizarea de noduri WSN cu senzori de metan, aplicații de comunicație la distanță și conexiune la internet, programate în limbajul C/C+ și experimentate pentru validare folosind platforma Arduino. Realizarea de diverse variante de interfețe pentru conexiunea între placa Arduino și diferiți senzori. S-a modelat/simulat, utilizând mediul CupCarbon, o aplicație complexă de monitorizare a atmosferei cu potențial exploziv din abatajul unei mine subterane de cărbune, folosind strategiile dezvoltate în teză, prin combinația între SCADA și o rețea WSN.

- Majoritatea rezultatelor din teză au făcut obiectul unor lucrări științifice susținute și publicate în Reviste și în Baze de date internaționale, Proceedings-uri ale unor Conferințe străine (unele ISI). Dintre acesta două sunt indexabile WOS .

7. PROPUNERI

- Cercetările desfășurate în elaborarea tezei, pot constitui o sursă bibliografică pentru proiecte implementabile cu sisteme ce se bazează pe rețele de senzori wireless sisteme ce pot fi ușor configurabile și foarte utile mai ales în situații limită;
- Întreaga lucrare poate constitui baza unui curs universitar dedicat rețelelor de senzori utilizând modulele Arduino sau alte module de conectare a senzorilor, iar aplicațiile pot fi dezvoltate în laborator;
- Valorificarea rezultatelor în domenii speciale, poate fi făcută prin contracte de cercetare, cooperare cu centre educaționale ori companii sau prestări servicii;
- Utilizarea WSN în aplicații speciale, bazate pe noile cerințe tehnologice mai ales în modernizarea infrastructurii asigură conservarea resurselor naturale necesare și generațiilor viitoare ce constituie un obiectiv major al zilelor noastre.

8. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] Amar N. S., Ravi R., K., Vijay K., Vipin G.- Safety of Underground Coal Mine Using Artificial Intelligence and Wireless Sensor Network, Published: International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 11 November 2016.
- [2] Abrudean M. -Systems theory and automatic regulation, Editura MEDIAMIRA, Cluj-Napoca, 1998.
- [3] Allen Bradly, Rockwell Automation- SCADA System Application guide, Pub. AG-UM08C-EN-C, February, USA, 2005.
- [4] Baker, N. – Zigbee and Bluetooth, Computing and Control Engineering, Aprilie-Mai 2005, Vol.16, Issue 2, Pag.20-25
- [5] Baker, N. – Zigbee and Bluetooth, Computing and Control Engineering, Aprilie-Mai 2005, Vol.16, Issue 2, Pag.20-25
- [6] Bogdanffy L., Pop E., Ilcea G, - HIL Simulation as Rapid Prototyping Method in Control Engineering, International Journal of Control Systems and Robotics ISSN: 2367-8917 Volum1, 2016.
- [7] Emil Pop, Gabriel-Ioan Ilcea, **Ionut-Alin Popa** - *Distance Control and Positive Security for Intrinsic Equipment Working in Explosive Potential Atmospheres.* - Engineering, 16 March 2018, 10, 75-84, ISSN Online: 1947-394X ISSN Print: 1947-3931 DOI: 10.4236/eng.2018.103006. Pag. 75-84.

- [8] Festilă Cl., Dulf E.H., Baldea A., *Observer Based Safe Operation of the 13C Cryogenic Separation Column*, 2010 International Joint Conference on Computational Cybernetics and Technical Informatics (ICCC-CONTI), Digital Object Identifier: 10.1109/ICCCYB.2010.5491250, 2010.
- [9] <https://www.researchgate.net>- Centrala telegizometrică CTT 63/40 U, 2016
- [10] <https://datasheet.octopart.com>, The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328
- [11] Ilcea Gabriel Ioan, Pop Emil, **Popa Alin- Ionuț** - Intrinsic safety and Positive Security with Embedded Software Solution for Equipment's Used in Spaces with Explosive Potential Atmosphere.- CBU-International conference UDC Classification 004.35;DOI:<http://dx.doi.org/10.12955/cbup.v6.1297>, Prague, Czech Republic, 1077, MARCH ISI Proceedings pag: 21-23, 2018
- [12] Ilcea, G., Dobra, R., Păsculecu, D. and Buică, G. (2014) Decision Support System Based on Fiber Optic Technology Applicable to Mining Industry. Proceedings of International Conference on Circuits, Systems, Signal and Telecommunications, Tenerife, 10-12 January 2014, 148-151.
- [13] **Ionuț-Alin Popa**, Emil Pop, Gabriel-Ioan Ilcea - Using Wireless Sensors Networks in special Applications for Mining with Accident Potential Location International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN 2319-7064, Impact Factor (2017): 7.296, Vol. 7 Issue 8, August 2018, pg. 229-235
- [14] **Ionuț-Alin Popa**, Emil Pop- SENSORS AND SENSORS WITH SPECIAL APPLICATION Annals of the „Constantin Brancusi” University of Targu Jiu, Engineering Series, No. 4/2016, Issue 4, p113-118
- [15] K. Holger, A. Willig “Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks”. JohnWiley & Sons, 2012.
- [16] Keith Stouffer, J Falco, Karen Kent - Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security, NIST Special Publication 800-82, 2006.
- [17] Leba M., Pop E., Sochirca B., Vanvu P. - Modeling, simulation and design of the intrinsic protection using safty barriers, Proceeding of the 8th WSEAS International Conference on CIRCUITS, SYSTEMS, ELECTRONICS, CONTROL AND SIGNAL PROCESSING (CSECS `09), Perto de la Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain, ISBN 978-960-474-139-7, ISSN 1790-5117.
- [18] Lorand Bogdanffy, Emil Pop, **Ionuț-Alin Popa**- Rapid Prototyping for Optimal Control of Electrical Drives International Journal of Circuits and Electronic, <http://www.ias.org/ias/journals/ijce>, ISSN: 2367-8879 88, pg. 83-88, 2016

- [19] Manolea Gh., Popescu Gh., Draghiciu M.A., Botezatu N. - Acționări electromecanice
Universitatea, Craiova, 2000.
- [20] Manolea Gh. - Sisteme automate de acționare electromagnetice, Editura Universitaris,
Craiova, ISBN 973-8043-525-5, 2004.
- [21] Mândrescu C., Pană T., Stoicuța O.- The control system analysis of the coal flow on the
scrapers conveyor in a longwall mining system IEEE Applied and Theoretical Electricity
(ICATE), 2016.
- [22] Muresan V., Abrudean M. - Control of rotary hearth furnace, using a programmable
controller, Automation, Quality and Testing, Robotics, 2008. AQTR 2008. IEEE
International Conference, Pag. 262-266.
- [23] Nedelcu, A., Sandu, F., Machedon-Pisu, M., Stoianovici, V. – Wireless-based Remote
Monitoring and Control of Intelligent Buildings, International Workshop on Robotic and
Sensors Environments, Lecco, Italia, Noiembrie 2009
- [24] Păun F., Părăian M., Sicoi S., Ghicioi E., Lupu Le.- Petricolul de aprindere a atmosferei
explozive prin descărcări electrostatice de la om, INSEMEX, Petroșani 2008.
- [25] Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D. – Enabling Ultra-Low Power Wireless Research,
Proceedings of the Fourth International Conference on Information Processing in Sensor
Networks (IPSN/SPOTS), Aprilie 2005
- [26] Pop Emil, Alexandrescu Cristina, Ilcea Gabriel, **Popa Ionut-Alin**- POSSIBILITIES OF
USING BLENDED LEARNING IN CONTROL ENGINEERING WITH APPLICATION
AT SYSTEMS THEORY Conference name: 10th International Conference on Education
and New Learning Technologies, EDULEARN18 Proceedings, ISBN: 978-84-09-02709-5,
ISSN: 2340-1117, Location: Palma, Spain, Pages: 435-
445,doi: 10.21125/edulearn.2018.0188, 2-4 July, 2018, (Indexing in WOS)
- [27] Pop E., Ilcea G., **Popa I.A.**, Bogdanffy L. - Increasing the Safety of People Activity in
Aggressive Potential Locations, analyzed through the Probability Theory,
Modeling/Simulation and Application in Underground Coal Mining. Engineering Journal
ISSN 1947-394X ISSN Print: 1947-3931, DOI:10.4236/eng2019.112008, pag: 103-106,
<http://www.scirp.org/journal/eng>.
- [28] Pop M., Pop E. - Conducerea automată a combinelor miniere, Editura Didactica si
Pedagogica, Bucuresti 1997.
- [29] Pop E., Leba M. - Microcontrollere și automate programabile, Editura Didactica si
Pedagogica, Bucuresti 2003.

- [30] Poantă, A., Dojcsar, D. and Sochirca, B. (2009) System Command of a Pump Instalation Based on a Programmable Controller. Revista Minelor, 15, 15-18.
- [31] Regulamentul de securitate și sănătate în muncă. CNH SA Petroșani, 2007.
- [32] Sochirca B. - Analiza echipamentelor electronice și a PIC-urilor pentru automatizări în medii potențial explozive. Raport de cercetare nr 2, 2009.
- [33] Stefan Odobleja – Psychologie consonantiste, Lugoj, Librairie Maloine, Paris, 1937-1938.
- [34] SR EN 60079-11:2007, Aparate electrice pentru atmosfere explosive gazoase. Partea 11: Protecția echipamentului prin securitate intrinsecă "i".
- [35] SR EN 60079-1:2008, Atmosfere explosive. Partea 1: Echipamente protejate prin carcase antideflagrante "d".
- [36] Vasilescu G., D., Ghicioi E., Kovacs A., Gheorghiosu E., Rus D., Jitea C., Bordoș S.-Ghid de evaluare a riscului de explozie la infrastructurile tehnice destinate depozitării explozivilor de uz civil., ISBN 978- 606-8761-03-9, Editura INSEMEX, 2017, Petroșani.
- [37] www.iec.ch, International Electrotechnical Commission, Internet of Things: Wireless Sensor Networks, Geneva, Switzerland 2014.
- [38] www.mining.com- Mine Site Technologies (MST)- New Wireless Sensor Network sets the benchmark for IoT in Mining, 19 October, 2016.
- [39] Woo A.- MICA: The Commercialization of Microsensor Motes, Sensors expo 2018.