

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA
Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

TEZĂ DE DOCTORAT

– Rezumat –

**CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE
ÎN DOMENIUL ORIENTĂRII ȘI NAVIGAȚIEI
SISTEMELOR INTELIGENTE**

Elaborată de: **ing. Sabou Sebastian Petru**

Conducător științific
Prof.dr.ing. Dorin Petreuş

CLUJ-NAPOCA
2017

CUPRINS

Capitolul 1 – Sisteme inteligente și autonome	1
1.1 Introducere	1
1.2 Sisteme inteligente și autonome	3
1.3 Stadiul actual de abordare a funcțiilor de navigație și orientare	8
1.4 Scopul și obiectivele tezei de doctorat	18
1.5 Metodologia de cercetare	18
1.6 Structura tezei	19
1.7 Concluzii și contribuții	20
Capitolul 2 – Navigația inerțială	22
2.1 Bazele teoretice ale navigației inerțiale	22
2.1.1 Ecuația mișcării punctului material față de sisteme inerțiale și neinerțiale	22
2.1.2 Definirea unui sistem de referință inerțial	27
2.2. Ecuațiile mișcării punctului material față de sisteme legate de sistemul de referință terestru	28
2.3. Principiul navigației inerțiale	32
2.3.1 Senzorul de accelerație și prelucrarea datelor furnizate	32
2.4 Sisteme de navigație inerțială	34
2.5. Determinarea coordonatelor în raport cu un sistem neinerțial	37
2.7. Concluzii	43
Capitolul 3 – Studiul senzorilor pentru orientarea și navigația autonomă	46
3.1 Introducere	46
3.2 Senzori utilizați în sisteme de măsurare inerțială	47
3.2.1 Evaluare senzori MEMS pentru determinarea distanței și a orientării	49
3.3 Determinarea distanței folosind senzor cu infraroșu	54
3.3.1 Introducere	54
3.3.2 Considerații teoretice	54
3.3.3 Analiza comportamentului senzorului în infraroșu în funcție de diferitele tipuri de materiale	57
3.3.3.1 Standul experimental și procedura de lucru	57
3.3.3.2 Rezultate experimentale	59
3.3.4 Analiza comportamentului senzorului în infraroșu în funcție de culoarea obstacolelor	60
3.3.4.1 Standul experimental și procedura de lucru	60
3.3.4.2 Rezultate experimentale	61
3.3.5 Analiza comportamentului senzorului în infraroșu față de obiecte de diferite dimensiuni	62
3.3.5.1 Standul experimental și procedura de lucru	62
3.3.5.2 Rezultate experimentale	63
3.3.6 Liniarizarea datelor furnizate de senzor infraroșu GP2D120	64
3.3.7 Rezultate experimentale liniarizare date senzor infraroșu	67
3.4 Determinări experimentale pe baza senzorului cu ultrasunete	70
3.4.1 Introducere	70
3.4.2 Considerente teoretice	70
3.4.3 Senzorul cu ultrasunete	72
3.4.4 Determinarea distanței dintre senzorul ultrasonic și obstacol	73

3.4.5 Rezultate experimentale	75
3.4.7 Determinarea distanței față de obstacole de diferite texturi	77
3.4.7.1 Standul și procedura de lucru	77
3.4.7.2 Rezultate experimentale	78
3.4.8 Localizarea obstacolelor multiple într-un mediu de lucru	79
3.4.8.1 Standul și procedura de lucru	79
3.4.8.2 Rezultate experimentale	81
3.4.9 Determinarea caracteristicii senzorului cu ultrasunete față de obiecte cu forme geometrice diferite	82
3.4.9.1 Standul și procedura de lucru	82
3.4.9.2 Rezultate experimentale	82
3.5 Senzorul laser Parallax LRF02 pentru determinarea distanței	84
3.5.1 Caracteristici tehnice	86
3.5.2 Comunicația cu senzorul	87
3.5.3 Domeniul de măsură și acuratețea măsurărilor	91
3.5.4 Conectarea senzorului la sistemul de dezvoltare Arduino Nano	91
3.5.5 Analiza măsurărilor pentru unghiuri de incidență diferite	92
3.6 Concluzii	94
Capitolul 4 – Orientarea sistemelor autonome	96
4.1 Introducere	96
4.2 Sistemul experimental	98
4.3 Implementarea unui algoritm de fuziune de senzori cu microcontroler	103
4.3.1 Rezultate experimentale	107
4.4. Unitatea de măsură inerțială	108
4.4.1. Reprezentarea atitudinii	108
4.4.2. Implementarea practica a filtrului Kalman	110
4.4.3. Rezultate obținute prin implementarea algoritmului de filtrare Kalman în estimarea atitudinii	114
4.5 Concluzii	117
Capitolul 5 – Navigația sistemelor autonome	123
5.1 Introducere	123
5.1.1 Metodele de navigație a roboților autonomi	123
5.1.2 Module de navigație ale roboților mobili	124
5.2 Planificarea rutei	127
5.2.1 Soluții cunoscute de conducere a roboților pentru path following	129
5.3 Simulator algoritm SLAM	135
5.3.1 Prezentare simulator	135
5.3.2 Rezultate obținute prin simulare	138
5.4 Metoda GRAFULUI	142
5.5 Algoritm SLAM	146
5.5.1 Implementare algoritm folosind microcontroler pe 8 biți	153
5.5.2 Rezultate experimentale	154
5.6 Algoritm evitare obstacole	156
5.6.1 Descrierea algoritmului	156
5.6.2 Rezultate experimentale	164
5.7 Concluzii	172
Capitolul 6 Concluzii și dezvoltări ulterioare	178
6.1 Concluzii generale	
6.2 Direcții de cercetare	
6.3 Contribuțiile tezei	
6.4 Diseminarea rezultatelor	

Cuvinte cheie: senzori, algoritm evitare obstacole, navigare, orientare, autonom.

Introducere și motivația tezei de doctorat

Pe plan internațional și național sunt efectuate studii asupra problematicii controlului unor roboți cu specific de asistență a persoanelor cu dizabilități, asupra elaborării unor soluții cât mai performante și mai apropiate de comportamentul uman. S-au realizat implementări ale unor funcții care imită foarte fidel anumite comportamente umane: apucare, recunoaștere vocală, recunoaștere vizuală; toate acestea oferă persoanelor cu dizabilități un anumit grad de libertate și confort. Un accent important este pus și pe implementarea unor aplicații și soluții de conducere locală sau la distanță pentru sisteme dedicate acestui scop, pentru sisteme de teleprezență.

Pornind de la aceste idei, cercetările efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat s-au concentrat asupra realizării unui sistem inteligent, capabil să se orienteze în mod autonom și să fie capabil să urmeze traiectorii impuse precum și calculul unor noi traiectorii, cu evitarea eventualelor obstacole sau a altor limitări de pe parcurs.

S-a dorit utilizarea de componente, de sisteme de calcul și de senzori care sunt disponibili pe piață, să fie cât mai ieftini, cât mai ușor de programat, să rezulte un sistem care poate fi implementat de către persoane fără cunoștințe avansate de electronică, de programare. Utilizarea de sisteme de dezvoltare de complexitate cât mai mică și cu costuri cât mai mici, de preferință utilizând platforme cu microcontrolere uzuale, pe 8 biți, doar în situații deosebite unde obținerea unui nivel de prelucrare de date impune utilizarea de sisteme mai complexe, este unul din scopurile acestei teze de doctorat.

De asemenea, se dorește analiza și propunerea unor algoritmi cât mai ușor de implementat pentru microcontrolere pe 8 biți (de preferat), care să ofere suficiente performanțe pentru orientarea și navigarea unui sistem de ajutor locomotor pentru persoane cu dizabilități locomotorii în interiorul unei locuințe sau a unei camere.

Obiectivele tezei de doctorat

Principalele obiective ale tezei de doctorat sunt următoarele:

- Integrarea unor senzori (pentru navigație inerțială și pentru detecția obstacolelor) disponibili pe piața de larg consum, la un preț cât de mic, obținerea unor rezultate cu erori minime, utilizarea unor algoritmi de eliminare a erorilor.
- Studiul și implementarea unor algoritmi de fuziune a datelor furnizate de la senzori de navigație inerțială care sunt disponibili la prețuri cât mai mici.

- Studiul și optimizarea unor algoritmi de detecție și evitare a unor obstacole utilizând cu prioritate sisteme de calcul cu microcontrolere pe 8 biți.
- Implementarea unui simulator pentru verificarea a algoritmilor de evitare a obstacolelor, a algoritmilor de orientare și navigație autonomă a unor sisteme inteligente.

Structura tezei

Teza cuprinde șase capitole, care pun în evidență scopul final al acesteia, acela de a realiza un sistem inteligent, capabil să se orienteze autonom, să urmărească un traseu impus și să fie capabil să detecteze eventuale obstacole și să le evite, revenind la traseul inițial, utilizând sisteme de comandă și senzori care sunt cei mai accesibili pe piață în acest moment de timp. Deoarece, în ultimii ani, în cadrul catedrei de Electronică aplicată din Baia Mare, a fost stabilit ca și direcție principală de cercetare, studiul și realizarea unor sisteme de asistență pentru persoane cu anumite dificultăți sau dizabilități (mai mult pentru dizabilități fizice, locomotorii, de manipulare) și această teză are unul dintre scopuri de a aduce măcar cu un pas mai aproape realizarea unui sistem de asistență cât mai complet. Dar, sistemul poate fi utilizat într-o mare varietate de aplicații precum: industrie, automobile, construcții, depozite, asistența persoanelor cu dizabilități.

În **Capitolul 1 Sisteme inteligente și autonome** a fost realizată o introducere în domeniul de cercetare al tezei, prezentând motivația alegerii acestei teme. Utilizarea unor sisteme inteligente și autonome pentru navigarea în interiorul unor spații închise presupune o altă abordare în ceea ce privește localizarea, orientarea și navigația prin prisma utilizării unor algoritmi de prelucrare a datelor care se bazează, exclusiv, pe date furnizate de către senzori, date care nu permit o localizare absolută cum ar fi cea obținută prin utilizarea unor sisteme GPS.

Au fost prezentate rezultatele obținute în urma unei cercetări aprofundate a ceea ce se găsește pe actuala piață comercială, a tehnologiilor utilizate pentru implementarea unor asemenea sisteme inteligente precum și un studiu asupra tehnologiilor de modelare și cartografiere utilizate în prezent pentru aceste sisteme.

Sisteme care utilizează asemenea tehnologii se găsesc încorporate într-o multitudine de aparate: aparate electrocasnice (de ex. aspiratoare), sisteme pentru asistență personală, sisteme utilizate în cadrul unor spații de depozitare...

Contribuții personale în cadrul acestui capitol pot fi considerate determinarea domeniilor de utilizare a acestor sisteme, de determinare a tehnologiilor utilizate precum și orientarea acestei abordări prin prisma unui sistem inteligent care să fie utilizat ca platformă de dezvoltare pentru un sistem de asistență personală pentru persoane cu dizabilități locomotorii, platforma care constituie partea mobilă a acestui sistem de asistență. S-a încercat de asemenea utilizarea unor senzori și a

unor platforme de calcul care sunt disponibile pe piața și la un preț de cost foarte redus iar alegerea tehnologiilor utilizate s-a realizat ținând cont de acest deziderat.

Capitolul 2 – Navigația inerțială conține un studiu teoretic, de bază, a sistemelor de referință ale sistemelor mobile. S-a realizat astfel o bază de calcul matematic utilizată în majoritatea algoritmilor de conducere cercetați și implementați în această teză. Fiecare sistem mobil are propriul sistem de referință, fiecare hartă a fost realizată raportat la un sistem de referință propriu, utilizarea acestor hărți necesită implementarea unui algoritm de transcalcul care să permită trecerea dintr-un sistem de referință în alt sistem de referință, astfel se utilizează la maximum toate resursele disponibile. De asemenea coroborarea unor date de pe o hartă disponibilă cu datele de pe harta realizată automat de către sistem, datele despre reperele cunoscute, despre obstacolele cunoscute, se bazează pe studiul realizat în acest capitol.

Prezența acestui capitol a fost impusă de necesitatea unui sistem matematic de calcul pentru a rezolva problemele rezultate din utilizarea unor hărți proprii, realizate onboard de către sistemul de calcul autonom, și utilizarea unor hărți (sau cel puțin a unor repere) externe, care pot fi descărcate de către sistemul autonom înainte sau în timpul realizării navigației.

Ca și contribuții proprii se pot menționa alegerea unui algoritm de transcalcul care să permită implementarea acestuia utilizând sisteme de calcul pe 8 biți, care sunt disponibile pe scară largă și la prețuri mici. Aceste constrângeri au dus la alegerea unor algoritmi care să nu necesite o putere de calcul ridicată precum și să utilizeze un minim de resurse (în special memorie).

Capitolul 3 – Studiul senzorilor pentru orientarea și navigația autonomă prezintă un studiu asupra senzorilor de navigație inerțiali, a erorilor care apar în funcție de configurația utilizată, un studiu pentru diferite topologii de senzori precum și pentru determinarea și corecția erorilor care apar. S-a propus o soluție de corecție care a fost utilizată ulterior, referitoare la calibrarea senzorilor, la utilizarea datelor de la fiecare senzor pentru creșterea acurateții măsurărilor.

Au fost studiați senzori MEMS, utilizați pentru determinarea accelerației și a rotirii sistemului autonom, au fost prezentate modalitățile de conectare și au fost analizate erorile generate precum și metode de corectare a acestor erori. Au fost studiați doi senzori, unul de accelerație și unul de câmp magnetic.

S-au studiat senzori de măsurare a distanței utilizând lumina infraroșie, a fost analizat comportamentul acestora în cazul distanței determinate față de obstacole din materiale diferite, față de obstacole având culori diferite precum și pentru obstacole de dimensiuni fizice diferite. A fost prezentat un algoritm de liniarizare a datelor furnizate de către un asemenea senzor cu

infraroșu, algoritmul fiind și implementat într-un sistem cu FPGA, pentru a putea fi analizată oportunitatea utilizării acestuia în sisteme autonome.

A fost analizat comportamentul unui senzor de determinare a distanței, utilizând ultrasunetele, în situația unor obstacole cu texturi diferite, în situația utilizării într-un mediu cu obstacole multiple precum și performanțele acestuia în cazul unor obstacole cu forme geometrice diferite.

De asemenea, pentru situația în care este necesară o precizie mare de determinare a distanței, se utilizează senzori laser. Aceștia au un preț de cost destul de ridicat (încă) dar a fost studiat comportamentul utilizării unui asemenea senzor în cadrul unui asemenea sistem autonom, fiind studiate erorile datorate unghiului de incidență a fasciculului laser pe obstacol.

În cadrul acestor studii, toți senzorii au fost conectați la sisteme de dezvoltare cu microcontrolere pe 8 biți, fiind prezentate modul de conectare precum și programul necesar comunicării cu aceștia.

Contribuțiile personale în acest capitol au constat în realizarea acestor studii asupra unor senzori integrați pentru determinarea accelerației (vitezei) și de câmp magnetic (rotire), a senzorilor de determinare a distanței care utilizează diferite tehnologii de măsurare.

În Capitolul 4 – Orientarea sistemelor autonome conține un studiu teoretic și experimental, pentru interfațarea diverselor configurații de senzori care sunt disponibili pe piață, utilizarea acestora cu sisteme de dezvoltare accesibile (Arduino).

Pentru a facilita experimentarea mai multor algoritmi de calcul, a fost implementat un sistem de comunicație între sistemul autonom și un calculator, algoritmul utilizat pentru orientarea sistemului rulând pe calculator, fiind implementat utilizând mediul de calcul Matlab. Desigur, se poate considera că se elimină partea autonomă, doar că a fost aleasă această soluție datorită posibilității de a simula mult mai mulți algoritmi față de implementare acestora într-un sistem de dezvoltare. Posibilitățile de studiu pe care o permite această configurație este net superioară celei încorporate în sistemul autonom. S-a ținut cont permanent, în cadrul dezvoltării algoritmilor, de posibilitatea de a fi utilizate și în sisteme de dezvoltare, fiind utilizate în general variabile pe 8 biți, variante de algoritmi care să nu necesite calcule complexe care sunt consumatoare de timp în cazul unor sisteme de dezvoltare simple.

Au fost studiate câteva tipuri de metode de fuziune a datelor obținute de la senzori, fiind utilizat filtrul complementare și filtrul Kalman, aceste două metode fiind și implementate practic prin intermediul unui sistem de dezvoltare Arduino.

De asemenea a fost studiată realizarea unei unități de măsură inerțială, o unitate care sa furnizeze date care au fost supuse unor algoritmi de corecție, date care să poată fi utilizate direct de către alte sisteme de calcul.

Contribuția personală în acest capitol constă în studiul și implementarea practică a unor sisteme cu senzori inerțiali care să permită compensarea erorilor prin implementarea unor filtre de tip complementar și Kalman, implementarea fiind realizată cu succes utilizând sisteme de dezvoltare cu microcontrolere pe 8 biți.

Capitolul 5 – Navigația sistemelor autonome este destinat navigației autonome a sistemelor, având în cuprins un studiu teoretic și experimental asupra algoritmilor de navigație și a diverselor topologii de senzori.

S-au studiat mai multe soluții pentru planificarea traiectoriei, fiind prezentate cu avantajele și dezavantajele lor. Pentru un studiu mai detaliat a fost ales algoritmul SLAM, acesta fiind și implementat practic prin intermediul unui sistem de dezvoltare Arduino (implementarea a fost minimală, orice constrângeri suplimentare având ca rezultat un timp de calcul al algoritmului care nu este fezabil (de ordinul secundelor).

Pentru a efectua studiul algoritmului SLAM a fost implementat un simulator, utilizând mediul de calcul Matlab, realizând și o interfață grafică pentru introducere de date precum și pentru urmărirea vizuală a comportamentului sistemului autonom. Ca și facilitate importantă a fost posibilitatea de a transmite algoritmului date reale de la un sistem mobil, utilizând o legătură radio între sistemul mobil și calculatorul, prin intermediul unor sisteme de dezvoltare Arduino. Astfel se poate verifica în condiții cât mai reale comportamentul algoritmului propus, de asemenea este posibilă utilizarea spre studiu a mai multor algoritmi, fie rulând simultan (având aceleași date de la senzori) fie rulând succesiv (având aceleași condiții de mediu).

Au fost prezentate și rezultatele implementării algoritmului SLAM pe platforma Arduino, fiind determinate avantajele și dezavantajele acestei implementări.

Spre finalul capitolului a fost prezentat un algoritm de evitare a obstacolelor, algoritmul fiind obținut prin adăugarea unei funcții suplimentare, de prioritizare a obstacolelor, unui algoritm utilizat pe scara largă pentru evitarea obstacolelor (pentru sisteme cu grad de complexitate redus). Au fost studiate efectele funcției suplimentare asupra comportamentului sistemului autonom, fiind obținute performanțe crescute, prezentate în mod grafic. Studiul acestui algoritm de evitare a obstacolelor a fost realizat utilizând același mediu Matlab.

Contribuțiile personale în acest capitol au fost mai numeroase față de capitolele precedente, realizarea unui simulator pentru studiul algoritmului SLAM, realizarea unui simulator pentru algoritmul de evitare a obstacolelor, implementarea algoritmului SLAM prin intermediul unui sistem de dezvoltare Arduino pe 8 biți precum și obținerea unui algoritm cu performanțe mult mai bune prin adăugarea unei funcții suplimentare, a unei funcții de priorizare a obstacolelor.

Capitolul 6 Concluzii și dezvoltări ulterioare evidențiază rezultate obținute și prezintă o serie de posibile direcții de continuare a cercetării și dezvoltării temei propuse în cadrul acestei teze. Aceste rezultate au fost obținute în cadrul programului de cercetare doctorală și al Programului Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013: „Parteneriat inter universitar pentru excelență în inginerie - PARTING”, din cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, finalizat cu un stagiu de cercetare la Universitatea din Debrecen-Ungaria.

La finalul tezei sunt prezentate referințele bibliografice utilizate pe parcursul elaborării acesteia și anexe care cuprind schemele electrice și sursele programelor dezvoltate în cadrul acestei teze de doctorat.

Contribuțiile principale ale tezei de doctorat

Dintre contribuțiile personale aduse acestei lucrări, de către autor, se pot aminti:

- În prima parte se poate remarca o bună sistematizare a informațiilor despre sisteme autonome în general și a posibilităților de implementare a acestora.
- S-a realizat o documentare și o prezentare aprofundată, a utilizării circuitelor digitale în implementarea sistemelor autonome.
- Realizarea unui studiu teoretic privind componenta matematică în ceea ce privesc sistemele de navigație inerțiale
- Studiul unor senzori cu posibilități de utilizare în domeniul determinării orientării și navigației sistemelor inteligente
- Propunerea și verificarea, teoretică și practică, a unor algoritmi pentru prelucrarea datelor de la senzori (calibrare senzori, liniarizare date senzori, filtrare date senzori).
- Studiul senzorilor laser pentru determinarea distanței, senzori care nu sunt utilizați pe scară largă în sisteme autonome low cost
- S-a realizat o documentare vastă în ceea ce privesc algoritmii utilizați pentru orientarea sistemelor precum și adaptarea și implementarea practică a unora pentru sisteme autonome care utilizează microcontrolere pe 8 biți.
- S-a făcut un studiu privitor la algoritmii de navigație utilizați de către sisteme inteligente low cost
- Pentru o mai rapidă evaluare a diversilor algoritmi s-a conceput un simulator cu o interfață grafică, utilizând programul Matlab, care permite simularea și emularea algoritmilor, având posibilitatea de a simula anumiți senzori specifici sau de a primi date reale de la senzori cu ajutorul unei interfețe hardware și software

- S-a reușit optimizarea unui algoritm de evitare a obstacolelor, prin adăugarea unor funcții care au dus la obținerea mai multor avantaje dintre care merită amintită reducerea probabilității de a obține minime locale. Algoritmul a fost simulat atât cu obiecte fixe cât și cu obiecte în mișcare, utilizând simulatorul menționat anterior.

Listă de lucrări publicate

Articole indexate ISI (proceedings)

1. Daniel Mic, Alin Tisan, Ștefan Oniga, Claudiu Lung, **Sebastian Sabou**, „**The Development of a Simulink Library with FPGA Compatible Parametric Components for Electric Machines Control**”, International Symposium on Signals, Circuits and Systems, ISSCS 2009, Iași 2009, p.561, ISBN 978-1-4244-3784-9
2. **Sabou Sebastian; Lung Claudiu**, „**Obstacle avoidance algorithm**”, 2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Year: 2016, Pages: 262 - 265, DOI: 10.1109/SIITME.2016.7777291
3. Claudiu Lung; **Sebastian Sabou**; Attila Buchman „**Wireless sensor networks as part of emergency situations management system**”, 2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Year: 2016, Pages: 240 - 243, DOI: 10.1109/SIITME.2016.7777286
4. Claudiu Lung, **Sebastian Sabou**, Cristian Barz „**Smart sensor implemented with PicoBlaze multi-processors technology**” – International Symposium for Design and Technology of Electronic Packages, SIITME 2012, 18th Edition, Alba Iulia, Romania, October 25-28, 2012, p.241-245, Print ISBN: 978-1-4673-4757-0, Digital Object Identifier: 10.1109 /SIITME. 2012. 6384384
5. **Sabou Sebastian**, Lung Claudiu, Orha Ioan, „**Inertial navigation modular system**” – International Symposium for Design and Technology of Electronic Packages, SIITME 2012, 18th Edition, Alba Iulia, Romania, October 25-28 2012, p.267-270, Print ISBN: 978-1-4673-4757-0, Digital Object Identifier: 10.1109 /SIITME. 2012.6384389
6. Claudiu Lung, **Sebastian Sabou**, Ioan Orha „**Communication control system implemented in FPGA**” – International Symposium for Design and Technology of Electronic Packages, SIITME 2011, 17th Edition, Timișoara, Romania, October 20-23, 2011, p.245-248, E-ISBN: 978-1-4577-1275-3, Print ISBN: 978-1-4577-1276-0, INSPEC Accession Number: 12440665, Digital Object Identifier: 10.1109/SIITME.2011.6102727
7. Claudiu Lung, **Sebastian Sabou**, Ioan Orha, Andrei Buchman, „**ZigBee Smart Sensors Networks**” – International Symposium for Design and Technology of Electronic Packages, SIITME 2010, 16th Edition, Pitesti, Romania, September 23-26, 2010, p. 309-312, ISBN 978-1-4244-8122-4/10/\$26.00 ©2010 IEEE
8. **Sabou Sebastian**, Lung Claudiu, Orha Ioan, „**MEMS - based inertial measurement unit map and map matching techniques**”, International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) Galati, , 19th Edition, 2013, IEEE Conference Proceedings, vol 1, pag 144-145, Print ISBN: 978-1-4799-1555-2/13/\$31.00 ©2013 IEEE, Digital Object Identifier: 10.1109/SIITME.2013.6743675
9. **Sabou Sebastian**, Ștefan Oniga, Claudiu Lung, „**Magnetic sensors in inertial navigation system**”, International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) Bucharest , 20th Edition, 2014, IEEE Conference Proceedings, vol 1, Pag. 211 – 214, DOI 10.1109/SIITME.2014.6967030
10. Lung Claudiu, Buchman Attila, **Sabou Sebastian**, „**Emergency radio communication network controller implemented in FPGA**”, International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) Bucharest , 20th Edition, 2014, IEEE Conference Proceedings, vol 1, Pag. 193 – 196, DOI:10.1109/SIITME.2014.6967026

Articole indexate în baze de date B+

1. **Sebastian Sabou**, Claudiu Lung, Ioan Orha „**Inertial navigation module**” – Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, North University Baia Mare, 2012, p. 97-100, ISSN 1844-9689
2. **Sebastian Sabou**, Claudiu Lung, Ioan Orha „ **Simple vision for microcontroller** ” – Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, North University Baia Mare, 2011, p. 107-110, ISSN 1844-9689
3. Claudiu Lung, **Sebastian Sabou**, Ioan Orha, Andrei Buchman, „**FPGA Implementation of a Linearization Algorithm for Sharp GP2D120 Range Sensor**” – Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, North University Baia Mare, 2010, p. 57-60, ISSN 1844-9689
4. Ioan Orha, **Sebastian Sabou**, Claudiu Lung, „**Analysis and modeling of Transformerless Photovoltaic Inverter Systems with PSIM and MATLAB/SIMULINK**” – Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, North University Baia Mare, 2010, p. 89-94, ISSN 18474-9689
5. **Sebastian Sabou**, Ioan Orha, Claudiu Lung, Andrei Buchman, „**Autonomous navigation system - map matching**” – Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, North University Baia Mare, 2010, p. 107-112, ISSN 1844-9689