

Mircea NIȚULESCU

Mircea NIȚULESCU

ROBOTI MOBILI ȘI MICROROBOTI

Note de prezentare



**EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2020**

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Mircea IVĂNESCU,
Universitatea din Craiova

Prof. univ. dr. ing. Valer DOLGA,
Universitatea Politehnica Timișoara

Copyright © 2020 Editura Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

NIȚULESCU, MIRCEA

Roboți mobili și microroboți : note de prezentare / Mircea
Nițulescu. - Craiova : Universitaria, 2020

Conține bibliografie

ISBN 978-606-14-1582-3

62

© 2020 by Editura Universitaria

Această carte este protejată prin copyright. Reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea prin orice mijloace și sub orice formă, cum ar fi xeroxarea, scanarea, transpunerea în format electronic sau audio, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau prin rețelele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informațiilor, cu scop comercial sau gratuit, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea scrisă a deținătorului copyrightului reprezintă o încălcare a legislației cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc penal și/sau civil în conformitate cu legile în vigoare.

Prefață

Astăzi, viața cotidiană și dezvoltarea civilizației umane nu mai pot fi practic concepute în afara suportului oferit de către robotică. Fie că este vorba de eliminarea totală a prezenței omului din diferite medii periculoase sănătății sale sub diverse aspecte, fie că este vorba de eliminarea operatorilor umani din activități excesiv repetitive care exploatează extrem de puțin inteligența, capacitatea de judecată și de creație, fie că este vorba de asigurarea necesarului sporit de forță de muncă, de educarea acestora sau de asigurarea unei game extrem de variate de servicii necesare societății umane, robotica a devenit astăzi omniprezentă și practic de neînlocuit.

Robotica mobilă, puternic impulsionată de dezvoltarea exponențială a aplicațiilor sale mai ales în zona educației și a serviciilor dar și în cea a industriei, este un domeniu științific, teoretic și aplicativ, cu o dezvoltare spectaculoasă în ultimii ani. În prezent, robotica mobilă este capabilă să ofere utilizatorilor o gamă variată tipologică, aspect care a devenit posibil datorită suportului consistent oferit de către evoluțiile extraordinare și de neînțeles cu câteva decenii în urmă ale unor domenii cum sunt microelectronica, știința calculatoarelor, informatica aplicată, inteligența artificială, comunicațiile mobile sau mecatronica în general.

Roboții mobili sunt structuri mecatronice evolute, dotate cu un anumit grad de autonomie care se manifestă sub mai multe aspecte: autonomia de deplasare în scenele de operare pregătite sau nepregătite aprioric, autonomia de decizie pe parcursul navigației și în realizarea celorlalte sarcini funcționale asociate, autonomia față de condițiile de mediu oferite de către scenele de operare, autonomia în raport cu necesitatea prezenței umane în proximitatea imediată, autonomia energetică etc. Construcția și exploatarea roboților mobili menține practic în actualitate toate problemele generale ale roboților convenționali: mecanică versatilă și fiabilă, sisteme de acționare performante, sisteme senzoriale capabile să controleze cu precizie și rapiditate o gamă foarte largă de parametrii, sisteme de conducere cu funcționare adaptivă în timp real, precizie și repetabilitate în realizarea secvențelor de mișcare etc. În același timp, se cer rezolvate o serie de probleme noi, a căror complexitate este direct proporțională cu gradul de autonomie care se dorește obținut:

cunoașterea scenei de operare și reactualizarea sa dinamică pe parcursul navigației, determinarea unei traiectorii optime din punct de vedere al sarcinii curente și al interacțiunii cu scena de operare, localizarea permanentă a robotului în scena sa de operare, tratarea în timp real a unui volum mare de informații diverse, de natură interoceptivă și exteroceptivă, asigurarea independenței energetice pe durata funcționării, coordonarea permanentă și în timp real cu celelalte sisteme conexe în scopul realizării funcției propuse etc. Deoarece o autonomie relativ completă și oarecum comparabilă cu cea umană rămâne încă un deziderat al roboticii, problemele enumerate anterior sunt ponderate corespunzător gamei de aplicații la care trebuie să răspundă un anumit robot mobil.

Trăsătura dominantă care individualizează clasa roboților mobili față de cei convenționali rămâne însă funcția de navigație. Există doi factori primordiali care și-au adus o contribuție importantă și simultană în ultimii ani la dezvoltarea puternică a sistemelor robotice cu capacitate de navigație: progresul deosebit al microtehnologiilor și apariția unei cerințe fără precedent pentru structurile robotice destinate serviciilor, distracției, scopului educațional sau cercetării științifice evaluate în domeniul inteligenței artificiale. Capacitatea de navigație a unei structuri mobile presupune în primul rând asigurarea mobilității acesteia prin intermediul unor soluții constructive care trebuie să fie cât mai adecvate scopului propus. Urmărind sprijinirea directă a activităților didactice, materialul din acest volum vizează în primul rând structurile robotice mobile cu sustentație prin roți.

Evoluția spectaculoasă a microtehnologiilor s-a manifestat pregnant în toate direcțiile care contribuie nemijlocit la realizarea sistemelor robotice dotate cu capacitate de navigație: structuri de conducere de tip PC, single board computer sau microcontroler, circuite embeded, senzori și sisteme senzoriale complexe, servosisteme miniaturale pentru acționarea electrică, noi și eficiente soluții pentru acumulatorii electrici, materiale de construcție noi și ușoare realizate prin tehnologii compozite, soluții moderne de îmbinări prin lipire, mult mai simplu de realizat dar și mai ușoare, utilizarea sistemului de poziționare globală GPS, elaborarea unor studii avansate asupra lumii biologice și definirea unor noi strategii de mobilitate și inteligență artificială inspirate din viața naturală, dezvoltarea fără precedent a tehnologiei informației, inclusiv prin disponibilitatea pe piață a unor pachete de programe standardizate care ușurează foarte mult munca proiectanților și cercetătorilor, producerea pe scară largă a unor sisteme de comunicații wireless etc. Scădere considerabilă a prețurilor raportate la performanțele specifice a făcut ca microtehnologii dintre cele mai diverse să devină din ce în ce mai abordabile pentru foarte mulți cercetători, proiectanți și utilizatori ai sistemelor robotice dotate cu capacitate de navigație.

Materialul cuprins în acest volum urmărește structura generală a cursului “Roboți mobili și microroboți”, curs existent în Planul de învățământ al domeniului de licență “Mecatronica și Robotică”, atât pentru specializarea “Mecatronică” cât și pentru specializarea “Robotică” în ultimul semestru de studii. Elaborat pe baza unei experiențe didactice dobândită pe parcursul a mai multor ani de predare, el aduce

un ansamblu de noțiuni și de cunoștințe suplimentare bazate pe elementele acumulate prin diferite discipline parcurse în semestrele anterioare.

Conform programei analitice, materialul este structurat în douăzeci de subiecte tematice. Acestea au în vedere nivelul de cunoștințe specifice studentului din ultimul semestru de studii și corespunde spațiului de predare alocat în prezent. Din punct de vedere tematic sunt tratate noțiuni fundamentale privind aspecte introductive și constructive, arhitecturi generale, performanțe specifice, metode și tehnici de localizare a roboților mobili, teoria și practica planificării traiectoriei folosind metode locale sau globale de viziune asupra scenei de operare, tehnici de modelare geometrică a scenelor de operare și de construire a anvelopelor primare și secundare pentru obstacole și pentru roboții mobili, generarea spațiului configurațiilor ca mediu de lucru pentru metodele de planificare a traiectoriilor, analize topologice asupra grafului configurațiilor, metode de generare a traiectoriei folosind graful de vizibilitate, decompoziția celulară exactă optimală, decompoziția celulară exactă neoptimală sau decompoziția celulară aproximativă, racordarea tronsoanelor poligonale ale traiectoriilor folosind arce de cerc, curbe Spline sau arce de clotoidă, tehnici de navigația specifice mediului industrial care utilizează traiectorii cablate, cum ar fi filoghidarea, optoghidarea sau videoghidarea etc.

Materialul inclus în această carte este realizat sub forma unor slide-uri și se dorește a fi un suport suplimentar de curs, necesar și util studenților pentru sintetizarea elementelor studiate. Această nouă formă de prezentare permite o mult mai rapidă schematizare a noțiunilor transmise precum și ilustrarea lor grafică mult mai adecvată, ceea ce poate aduce poate aduce numeroase avantaje și beneficii în procesul de învățare.

Craiova, februarie 2020

Prof. univ. dr. ing. Mircea NIȚULESCU

**Departamentul de Mecatronică și Robotică
Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică
UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA**

Roboți mobili și microroboți

note de prezentare

NUMAI PENTRU UZUL STUDENȚILOR

Prof. univ. dr. ing. Mircea NIȚULESCU

BIBLIOGRAFIE

Subiecte de examinare pentru disciplina

Roboți mobili și microroboți

Sursa notelor de prezentare și a materialului de curs este cartea:

SISTEME ROBOTICE CU CAPACITATE DE NAVIGAȚIE

autor: Dr. ing. Mircea NIȚULESCU

Editura: UNIVERSITARIA Craiova

Anul: 2002

ISBN 973 – 8043 – 143 - 3

Subiect de examinare

Subiectul 1

Evoluția și perspectivele roboților mobili, domeniul de utilizare, criteriile pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

(p. 17-23)

1. Evoluția și perspectivele roboților mobili, domeniul de utilizare, criteriile pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

- **Robotul mobil** este un dispozitiv mecatronic complex, care asigură un anumit grad de autonomie **ce permite navigația** în scenele de operare naturale sau preparate aprioric, fiind capabil să execute o clasă de sarcini utile pe parcursul deplasării sale. Diferența robot convențional / robot mobil este:
 - **Robotul convențional are baza fixă** în scena de operare
 - **Robotul mobil are baza mobilă** în scena de operare
- Există o gamă foarte largă de configurații mecatronice ce pot fi încadrate în **clasa roboților mobili**:
 - **Un vehicul cu roți** este considerat robot mobil numai dacă dispune de un anumit grad de autonomie în navigație
 - **Roboții manipulatori convenționali**, specifici aplicațiilor industriale, pot dobândi mobilitate prin instalarea lor pe o platformă mobilă
 - **Roboții mobili special proiectați pentru anumite aplicații**, al căror sistem de locomotie utilizează:
 - Șenile
 - Structuri pășitoare
 - Structuri șerpuitoare
 - Alte soluții constructive neconvenționale (aripi, elice, sisteme de propulsie cu reacție etc.)

1. Evoluția și perspectivele roboților mobili, domenii de utilizare, criterii pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

- **Roboții mobili propriu-ziși (prin comparație cu roboții convenționali) ocupă în prezent un loc relativ modest**, deoarece mediul industrial a folosit cu precădere până acum soluțiile tradiționale pentru transferul de materiale
- **Interesul pentru roboții mobili** a fost însă recent și foarte intens stimulat de:
 - Noile cerințe ale industriei în privința flexibilității
 - O nouă gamă de aplicații solicitate în domeniul serviciilor, al divertismentului și al educației
- Până în prezent, **complexitatea și prețul de cost relativ mare al roboților mobili au limitat răspândirea lor**.
- Cronologic, **primele cercetări** temeinice și avansate asupra roboților mobili cu sustentație prin roți s-au realizat în SUA după anul 1975. Dintre cele mai semnificative proiecte amintite în literatura de specialitate pot fi citate:
 - SHAKEY - Stanford Reserch Institute (SUA)
 - JASON - Berkeley University (SUA)
 - ROVER - Jet Propulsion Laboratory (SUA)
 - YAMABIKO (Japonia)
 - HILARE, VESA, MITHRA (Franța).
 - **Notă:** Marea majoritate a acestor proiecte au vizat în primul rând testarea unor soluții constructive, idei de proiectare, strategii de navigație sau componente electronice și electromecanice specifice, iar aspectul comercial imediat a fost urmărit numai în subsidiar.

1. Evoluția și perspectivele roboților mobili, domenii de utilizare, criterii pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

- **Construcția și exploatarea roboților mobili menține în actualitate toate problemele generale ale roboților convenționali:**
 - mecanică versatilă și fiabilă,
 - sisteme de acționare performante,
 - sisteme senzoriale capabile să controleze cu precizie și rapiditate o gamă foarte largă de parametri,
 - sisteme de conducere cu funcționare adaptivă în timp real, precizie și repetabilitate în realizarea secvențelor de mișcare, etc.
- În același timp, **se cer rezolvate o serie de probleme noi**, a căror complexitate este direct proporțională cu gradul de autonomie ce se dorește obținut:
 - cunoașterea scenei de operare și reactualizarea sa dinamică pe parcursul navigației,
 - determinarea unei traiectorii optime din punct de vedere al sarcinii curente și al interacțiunii cu scena de operare,
 - localizarea permanentă a robotului în scena sa de operare,
 - tratarea în timp real a unui volum mare de informații diverse, de natură interoceptivă și exteroceptivă,
 - asigurarea independenței energetice pe durata funcționării,
 - coordonarea în timp real cu celelalte sisteme conexe în scopul realizării funcției propuse, etc.
- Deoarece o autonomie relativ complexă și oarecum comparabilă cu cea umană rămâne încă un deziderat al roboticii, problemele enumerate anterior sunt ponderate corespunzător clasei de aplicații la care trebuie să răspundă robotul.
- Alegerea unui optim între performanțe și cost constituie și pentru roboții mobili factorul economic primordial al promovării lor în domenii dintre cele mai diverse, cu importante beneficii materiale și / sau sociale.

1. Evoluția și perspectivele roboților mobili, domenii de utilizare, criterii pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

Tabela 1.1. Domenii de utilizare, clase de aplicații și funcții realizate de roboți mobili.

Domenii de utilizare a roboților mobili	Clase de aplicații și funcții realizate
Industria producătoare	- Transportul componentelor și producție finită - Supravegherea procesului de fabricație
Industria nucleară	- Supravegherea instalațiilor - Manipularea materialelor radioactive - Întreținerea instalațiilor din centralele nucleare
Industria chimică	- Supraveghere tehnologică - Manipularea substanțelor toxice
Industria militară	- Supraveghere și patrulare - Minări și deminări de terenuri sau obiective - Manipularea muniției
Securitatea civilă	- Neutralizarea activităților teroriste - Demisii sau montarea explozivilor - Supravegherea depozitelor de explozibili
Industria minieră	- Asistență de urgență - Abatere complexă automată și autonomă funcțională
Submarin	- Montarea cablurilor sau conductelor - Prospecțiuni geologice - Recuperarea navelor avariate
Lupta contra incendiilor	- Localizarea sursei - Parcurgere pentru detectarea emanațiilor periculoase - Stingerea incendiilor
Agricultură	- Tunderea gazonului - Operații asupra solului - Culegerea fructelor sau legumelor
Construcții	- Realizarea autonomă a lucrărilor specifice - Transport de materiale
Carțințe	Curățirea suprafețelor în mediul civil sau industrial
Educație și divertisment	- Dezvoltarea aptitudinilor tehnice - Jocuri inteligente
Sănătate	- Supraveghere în spitale - Transportul medicamentelor către bolnavi
Bitonică	- Distribuirea corespondenței în birouri - Dezervirea locurilor de muncă
Unasimul	- Ajutor handicapatilor locomotorii sau ochilor - Comparație copilor sau persoanelor în vârstă

1. Evoluția și perspectivele roboților mobili, domenii de utilizare, criterii pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

Criterii pentru clasificarea roboților mobili

- Există numeroase criterii ce pot fi avute în vedere pentru clasificarea roboților mobili, cele specifice fiind **gradul de autonomie** și **gradul de mobilitate**
- Gradul de autonomie**, respectiv capacitatea decizională a robotului în prezența unei informații preliminare (insuficiente sau eronate) pentru realizarea sarcinii curente:
 - Robot mobil telecomandat permanent de un operator uman**, la care operatorul comandă și controlează într-o manieră continuă toate sarcinile elementare ce urmează a fi realizate de către robot
 - Robot mobil telecomandat periodic de un operator uman**, la care operatorul intervine numai pentru a asigura nivelul decizional global, robotul controlând acțiunile sale între comenzile primite de la operator
 - Robot mobil autonom**, ce realizează obiectivele predefinite cu ajutorul capacității decizionale proprii (sistem de ghidare, de navigație, bază de cunoștințe dinamice, etc.) într-un mediu parțial cunoscut și structurat. (Această clasă prezintă cel mai mare interes științific din punct de vedere al autonomiei și inteligenței artificiale imbricate)
- Autonomia unui robot mobil trebuie asigurată din cel puțin două puncte de vedere:
 - Autonomia energetică**
 - Autonomia de decizie sau inteligența robotului mobil**

1. Evoluția și perspectivele roboților mobili, domenii de utilizare, criterii pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

- **Gradul de mobilitate**, respectiv capacitatea de deplasare fără ajutor extern între două poziții, sau mai precis:
 - Capacitatea de evoluție într-un mediu ostil (periculos, gen labirint, etc.) și pe diverse tipuri de soluri, inclusiv cele nepregătite aprioric (nisip, pietriș).
 - Posibilitățile existente în evitarea sau depășirea obstacolelor (obstacole naturale, scări, șanțuri, plane înclinate, etc.).
 - Performanțele realizate: viteze, accelerații, rază de acțiune, capacitate de transport, durata independenței energetice, etc.
- **Bazei electromecanice** a unui robot mobil îi revine sarcina asigurării mobilității și motricității.
- Pentru realizarea propulsiei unui robot mobil, calea energetică asociată fiecărei acționări este principal aceeași. Ansamblul **Controler - Convertizor de putere - Element de execuție - Senzori** constituie ceea ce denumim **acționare inteligentă**.
- Pentru asigurarea locomotiei unui robot mobil sunt posibile mai multe soluții ce pot fi grupate în două clase principale:
 - **Contact direct cu solul.** Această clasă include cele trei soluții constructive tradiționale:
 - Cu roți,
 - Cu șenile
 - Cu structuri antropomorfe pășitoare sau șerpuitoare.
 - **Fără contact direct cu solul.** Această clasă include soluții neconvenționale:
 - Cu pernă de aer,
 - Cu sustentăție magnetică
 - De navigație propriu-zisă, ca în cazul vehiculelor spațiale sau submersibile.

1. Evoluția și perspectivele roboților mobili, domenii de utilizare, criterii pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

Roboții mobili în mediul industrial

- În mediul industrial, roboții mobili cu căi de ghidare s-au impus deja ca soluții eficiente de transport, adecvate unei organizări de tip CIM (Computer Integrated Manufacturing). Ei realizează urmărirea unui traseu, motiv pentru care ei mai sunt cunoscuți în literatura de specialitate și sub abrevierea **AGV (Automated Guided Vehicles)**
- **Traseul urmărit** de un robot mobil în mediul industrial poate fi:
 - **Cablat** (adică materializat pe sol sub forma unui traseu electric conductor în ghidarea inductivă, traseu de vopsea în ghidarea optică, șină conducătoare în ghidarea mecanică)
 - **Memorat**
- **Aplicații curente:**
 - Deservirea magazinelor automate cu componente și subansambluri
 - Alimentarea fluxurilor uzinale
 - Transferul interfazic între stațiile automate de procesare sau posturile manuale
 - Transportul produselor finite către magazii
 - Legătura cu instalațiile nocive omului
 - Curățirea periodică a planșelor, supravegherea contra incendiilor etc.

1. Evoluția și perspectivele roboților mobili, domenii de utilizare, criteriile pentru clasificarea roboților mobili și trăsături caracteristice esențiale ale roboților mobili destinați mediului industrial

Tabela 1.2. Avantajele utilizării roboților mobili în mediul industrial

Avantaje	Efecte	Justificări și motivații
Financiare	➤ Diminuarea cheltuielilor cu personalul auxiliar. ➤ Regularizarea fluxurilor. ➤ Diminuarea stocurilor intermediare. ➤ Diminuarea costurilor de întreținere cu peste 10%. ➤ Diminuarea pierderilor datorate distrugerilor materiale în operațiile de transport. ➤ Respectarea cu fidelitate a prescripțiilor de transport pentru produse fragile sau speciale. ➤ Îmbunătățirea gestionării producției prin eliminarea decorațiilor scrise și introducerea gestionării automate.	✓ Studiile economice realizate demonstrează amortizarea investițiilor inițiale în 3-5 ani pentru o activitate productivă în două schimburi și în 2-3 ani pentru o activitate productivă în trei schimburi. ✓ Funcționarea unui sistem de roboți mobili poate materializa conceptul de fabrică "just in time", cu minimizarea timpilor neproductivi. ✓ Funcționarea riguroasă a unui astfel de sistem măsoară mărimea tehnologică (interfață) a tuturor etapelor de producție.
Tehnice	➤ Nu reprezintă un obstacol pentru celelalte dispozitive și contribuie la un climat de ordine și disciplină în spațiile uzinale. ➤ Îmbunătățirea condițiilor de muncă și a indicelui de utilizare superioară a inteligenței omului. ➤ Soluții relativ simple, ușor adaptabile și evolutive.	✓ Introducerea unui sistem strict de circulație pe toate căile de transport și în dispunerea utilităților ameliorază productivitatea. ✓ Prin prelucrare automată a succesiunii de transport. ✓ Soluțiile clasice de ghidare sunt relativ ieftine și pot fi ușor modificate sau dezvoltate fără investiții substanțiale.
Comerciale	➤ Calitatea transportului intern se reflectă în calitatea finală superioară a produselor.	✓ Creșterea beneficiilor logistice de utilizatori sistemelor de roboți mobili.

