

CESTER

ROBOTICA MEDICALA

CURS

Roboti si dispozitive mecanice pentru aplicatii medicale. Tehnici de actionare si comanda a robotilor medicali.

Prof. Dr.Ing. Doina PISLA

Cuprins



- Aspecte generale;
- Telemedicina si telechirurgia;
- Dispozitive haptice;
- Planificarea miscarilor si comanda robotilor medicali;
- Bibliografie.

Aspecte generale

Roboti Medicali



In-vivo Micro Robot,
pentru monitorizare abdominala



Robotul Hippocrate, brat robotic pentru radiografie



RP-7i ROBOT, telerobot de consultanta

Roboti Medicali



- ▶ Tipuri de roboti medicali:
 - Roboti ajutoare medicale si chirurgicale;
 - Roboti de terapie;
 - Roboti de ghidare si pozitionare a instrumentelor;
 - Tele-Roboti (controlati de om).

- ▶ Avantajele unui robot medical:
 - Precizie ridicata;
 - Proceduri minim invazive (accesul in corpul pacientului se poate face cu un numar minim de incizii de dimensiuni mici);
 - Risc mai redus de aparitie a complicatiilor si a infectiilor.

- ▶ Dezavantajele unui robot medical:
 - Nu pot fi folositi in orice tip de interventii;
 - Costul ridicat al sistemelor robotizate.

Telemedicina si telechirurgia

Telemedicina



- ▶ **Telemedicina** reprezintă utilizarea tehnologiilor de telecomunicații și de informații, în scopul de a oferi asistența medicală la distanță. Ajută la eliminarea barierelor referitoare la distanță și poate îmbunătăți accesul la servicii medicale, care de multe ori nu sunt disponibile în mod constant. De asemenea, este utilizat pentru a salva vieți în situații de urgență.
- ▶ Primele forme de telemedicină realizate cu ajutorul rețelelor de telefonie și radio au fost completate cu videotelefonie, metode avansate de diagnosticare cu aplicații de tip client/server și cu dispozitive telemedicale pentru îngrijirea pacienților la domiciliu.
- ▶ Utilizarea telemedicinii a apărut din nevoia de a stabili diagnostice medicale pentru pacienții din zone îndepărtate care nu puteau călători. A fost, de asemenea, nevoie și de a ajuta orașele mici prin furnizarea unor tehnologii care să le permită medicilor să fie la curent cu progresele survenite în medicină și să se consulte cu colegii.

Telemedicina



- ▶ Introducerea serviciilor de telemedicină trebuie să urmărească o serie de obiective cu scopul de a deveni un serviciu eficient și anume :
 - Pacienții trebuie tratați cât mai aproape de casă și la cel mai adecvat nivel de îngrijire;
 - Expertiza medicală trebuie să fie disponibilă în mod egal, independent de locul unde trăiește pacientul;
 - Pacienții trebuie să primească informații și servicii de calitate ;
 - Calitatea deciziilor medicale trebuie îmbunătățită prin asigurarea unei mai mari disponibilități a informațiilor existente despre pacienți;
 - Trebuie să se evite repetarea examenelor de laborator și analizelor medicale;
 - Serviciile de sănătate pot să-și îmbunătățească eficiența și productivitatea prin reducerea muncii administrative de rutină, ca reintroducerea informațiilor existente deja în format electronic și prin distribuirea sarcinilor între instituțiile de îngrijire a sănătății și personalul de îngrijire;
 - Schimbul de informații trebuie să țină cont de aspectele securizării și confidențialității datelor pacienților;
 - Cunoștințele medicale trebuie să fie mai ușor accesibile;
 - Să poată fi asigurată o pregătire continuă a personalului medical;
 - Să poată fi asigurată o utilizare adecvată a resurselor locale și regionale.

Telemedicina

► Telemedicina cuprinde:

- teleradiologia
- telepatologia
- teledermatologia
- teleconsultatia
- telemonitorizarea
- teleoftalmologia
- telechirurgia



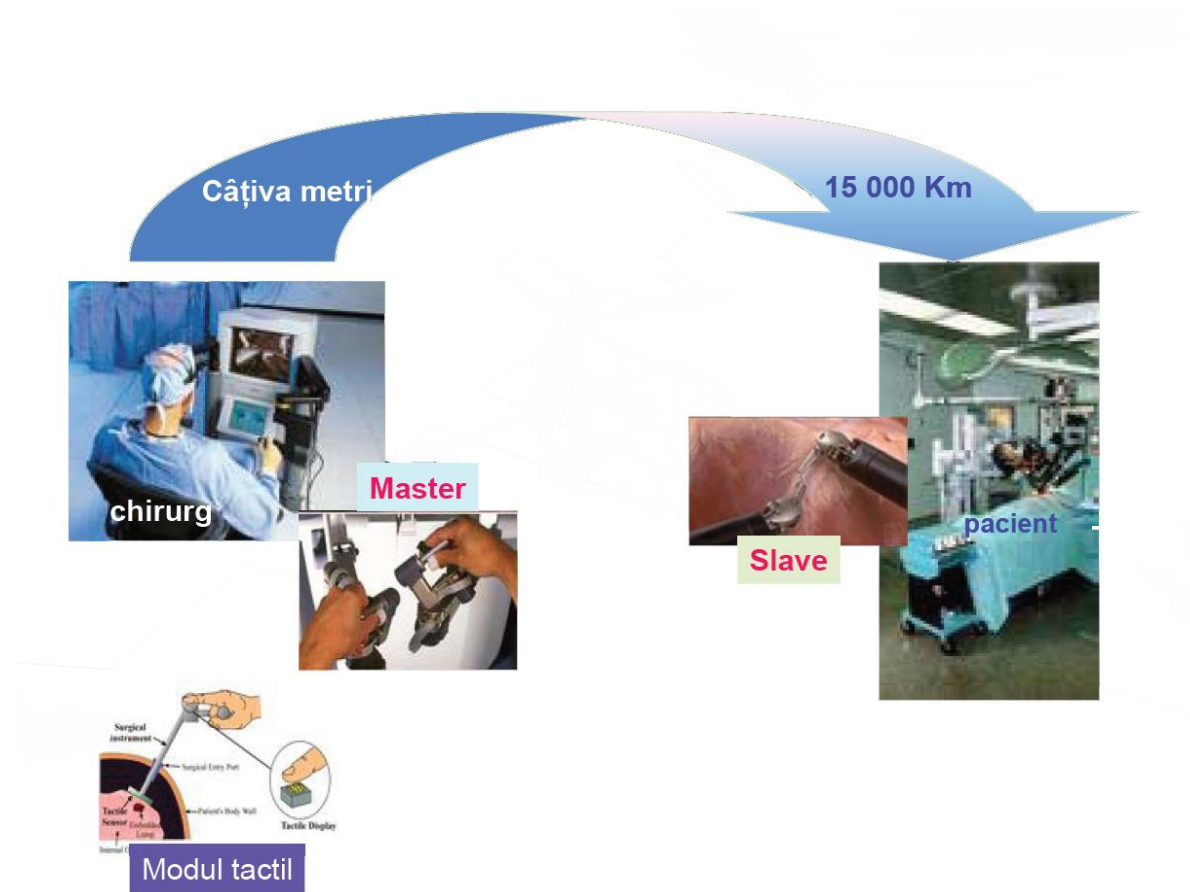
Aplicațiile principale de telemedicină printre care telemonitorizarea, teleradiologia reprezintă în prezent aproximativ 50% din aplicațiile utilizate în telemedicină la nivel european.

Telechirurgia



- ▶ *Telechirurgia* – Comanda la distanță a roboților implicați în intervențiile chirurgicale.
- ▶ Cu ajutorul telechirurgiei medicul poate realiza intervenția din biroul său, controlând sistemul robotic aflat în sala de operație.
- ▶ Acești roboți nu au autonomie, nu lucrează singuri, necesită control uman, au nevoie să fie dirijați de chirurg de la consola telesistemului sau prin comandă vocală.

Telechirurgia



Conceptul de telechirurgie

Telechirurgia



- ▶ Cea mai mare realizare în telechirurgia robotizată este operația **Lindberg** [Marescaux J, et al.]:
 - În 7 Septembrie 2001, are loc prima intervenție chirurgicală transatlantică realizată pe om.
 - Chirurgul care a realizat această intervenție a fost prof. Jacques Marescaux, care a fost asistat de profesorii J. Leroy and M. Gagner utilizând un sistem robotizat de tip Zeus produs de firma Computer Motion.
 - Operația Lindberg, a fost realizată dintr-o clădire din Manhattan. Doctorul Marescaux și asistentul său, Dr. Gagner se aflau în New York, iar doctorii Leroy și Smith se aflau în sala de operații în spitalul din Strasbourg. Pacienta a fost operată sub anestezie generală, la fel ca în cazul intervențiilor chirurgicale minim invazive clasice.
 - O cameră împreună cu două instrumente chirurgicale au fost introduse în cavitatea abdominală a pacientei.
 - Intervenția chirurgicală a fost o colecistectomie laparoscopică (îndepărtarea vezicii biliare). Operația a durat 45 de minute, și a fost realizată prin efortul comun al unei echipe interdisciplinare de 40 de specialiști în chirurgie, telecomunicații și ingineri de la firma Computer Motion.
 - Tehnicile de transmisie a datelor existente în 2001 au dus costurile acestei intervenții la 1 milion de Euro. Pe parcursul intervenției întârzierea raportată a fost sub 0.1 secunde, ceea ce a permis efectuarea procedurii în condiții foarte bune.
- ▶ În 12 mai 2003 a avut loc prima intervenție telechirurgicală din România:
 - Interventia a fost efectuată de doctorul Ralph Senner (München) pe o pacientă de 51 de ani aflată în Cluj-Napoca.
 - Intervenția a constat într-o hernie și o operație de rinichi, realizate în același timp, lucru ce a reprezentat o premieră mondială.
 - Doctorul Senner a fost asistat de o echipă de chirurghi din Cluj, condusă de prof. Dr. Mihai Lucan.

Dispozitive haptice

Generalitati

- ▶ **Haptica** este o parte a mediilor virtuale, care permite utilizatorilor să „atingă” și să simtă obiectele simulate cu care ei interacționează.
- ▶ Cuvântul derivă din grecul ***haptikos*** care înseamnă „a fi capabil să vină în contact cu...”.
- ▶ Studiul hapticii s-a dezvoltat odata cu ***realitatea virtuală***. Realitatea virtuală fiind o formă de interacțiune om-computer asigurând un mediu virtual care poate fi explorat prin interacțiune directă cu simțurile umane.
- ▶ Pentru a interacționa cu un mediu virtual, este necesar ***feedback***-ul. Adică utilizatorul trebuie să fie capabil să atingă un obiect virtual și să simtă un răspuns de la acesta. Acest tip de feedback se numește ***feedback haptic***.
- ▶ ***Feedback-ul haptic*** se referă atât la simțul tactil cât și la feedback-ul de forță. ***Feedback-ul tactil*** permite utilizatorilor să simtă textura diferitelor suprafețe, temperatura sau vibrațiile. În comparație cu acesta ***feedback-ul de forță*** reproduce forțele direcționale care pot rezulta din limite solide, greutatea obiectelor virtuale manipulate, complianța mecanică a unui obiect și inerția.

Generalitati



- ▶ **Dispozitivele haptice** sau **interfețele haptice** sunt dispozitive mecanice care intermediază comunicarea dintre utilizator și computer. Aceste dispozitive permit utilizatorilor să atingă, să simtă și să manipuleze obiecte tri-dimensionale în medii virtuale și sisteme tele-operate.
- ▶ **Dispozitivele haptice** sunt dispozitive input-output, aceasta însemnând că ele urmăresc manipulările fizice ale utilizatorului (input) și asigură senzații realiste de atingere coordonate cu evenimente pe ecran (output).
- ▶ În principiu, dispozitivele haptice sunt purtate de către oameni, astfel încât pot fi conduse de la distanță. Un dispozitiv de reflectare a forței poate face operatorul să „simtă” forța măsurată printr-un manipulator la distanță.
- ▶ Din punctul de vedere al designului, sistemele haptice pot fi:
 - Sisteme bazate pe „degete”;
 - Sisteme bazate pe „mână”;
 - Sisteme exo scheletale;
 - Dispozitive pasive.

Dispozitivele bazate pe „degete”



PHANTOM PREMIUM 6 DOF [Hsin-Yun Y., et al]

- ▶ Sistemul haptic cu retur de forță **PHANTOM PREMIUM**, cu șase grade de libertate.
- ▶ Folosit la asamblarea virtuală de mecanisme, realizarea de prototipuri, teleoperațiuni și modelarea moleculară.
- ▶ Prin simularea torsiunii combinată cu efecte de force-feedback este posibil să simtă forțele de coliziune și reacțiuni precum și cele de răsucire a unei componente dintr-un sistem mecanic virtual sau unul real în cazul unui braț de robot comandat de la distanță.

- ▶ Dispozitivul **PBFD (Pen-Based Force Display)** este un dispozitiv dotat cu acționare directă, acționare redundantă, cu două grade de libertate proiectat pentru a asigura feedback-ul de forță generat fie de un sistem master-slave sau o simulare virtuală.
- ▶ Operatorul interacționează cu acesta folosind fie amprenta, fie o unealtă în forma unui creion.



Dispozitivul haptic PBFD [Univ. of Washington]

Dispozitivele bazate pe „mână”



SideWinder Force Feedback Pro
[Microsoft Corporation]

- ▶ Joystick-ul produs de Microsoft: Microsoft SideWinder Force Feedback Pro, folosit în cadrul jocurilor, asigură returul de forță.



Novint Falcon [Novint Inc.]

- ▶ Dispozitivul a fost produs în colaborare cu compania Force Dimension fiind destinat jocurilor pe calculator.
- ▶ Este un controller care permite feedback-ul de forță tri-dimensional.

- ▶ Dispozitivul **CyberGlove** asigură o evaluare în timp real a posturii mâinii prin măsurarea poziției a 22 de articulații.
- ▶ Folosește proprietatea de modificare a rezistivității materialelor la presiune pentru a transforma mișcările mâinii și ale degetelor în date despre unghiul de rotație, date transmise în timp real.



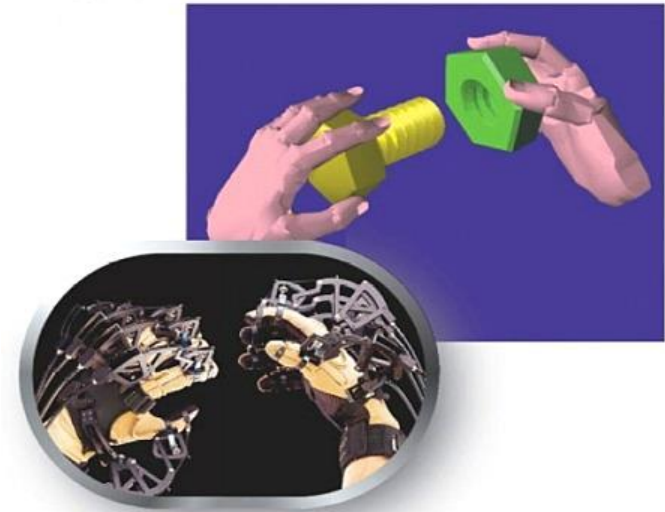
Dispozitivul haptic „CyberGlove”
[VRLOGIC Inc.]

Dispozitivele bazate pe „mână”



Dispozitivul haptic „CyberTrack” [VRLOGIC Inc.]

- ▶ Dispozitivul **CyberTrack** este o componenta a exoskeletonului CyberForce.
- ▶ Asigură o urmărire foarte precisă a mișcărilor mâinii umane. Prototipul a fost dezvoltat în laboratorul de realitate virtuală de la Lausanne.



Dispozitivul haptic „CyberGrasp”
[VRLOGIC Inc.]

- ▶ **CyberGrasp** este utilizat pentru a obține force feedback pe fiecare deget.
- ▶ Este un force-feedback pe o singură direcție destinat în mod special simulării prinderii cu mâna.
- ▶ Cu ajutorul dispozitivului CyberGrasp, utilizatorii pot simți forma și dimensiunea unui obiect 3D generat în realitatea virtuală.
- ▶ Forțele de prindere sunt produse printr-o rețea de tendoane conduse către vârful degetelor prin exoskeleton.

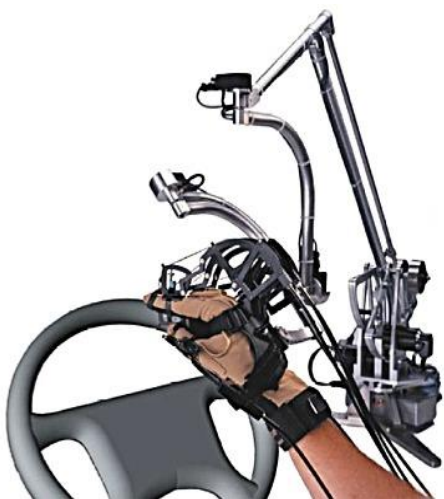
Dispozitivele bazate pe „mână”



Dispozitivul haptic Omega.7
[Force Dimension]

- ▶ Compania **Force Dimension** dezvoltă dispozitive haptice adaptate mâinii umane. Datorită preciziei deosebite, sistemele produse de această companie se folosesc atât pentru operarea roboților industriali cât și a celor folosiți în medicină, permițând operatorului uman să comande cu ușurință și în siguranță sisteme complexe.
- ▶ Dispozitivul **Omega.7** este unul dintre cele mai avansate din lume la ora actuală, fiind în primul rând extrem de versatil. End-effectorul său acoperă întreaga arie de mișcare a mâinii umane și este compatibil cu o teleoperare bi-manuală.
- ▶ Dispozitivul Omega.7 poate fi folosit în domenii multiple, cum ar fi:
 - Robotică medicală și spațială;
 - Micro și nano manipuloare;
 - Consolă de teleoperație;
 - Simulări virtuale;
 - Sisteme de training;
 - Cercetare.

Dispozitivele exo scheletale



Dispozitivul haptic
„CyberForce” [VRLOGIC Inc.]

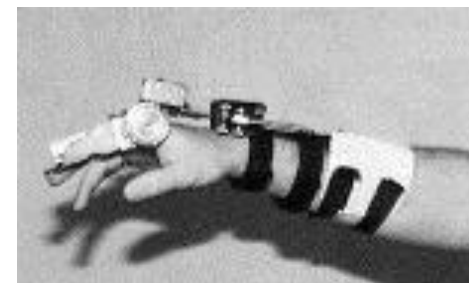
- ▶ **CyberForce** este un dispozitiv cu retur de forță, care transmite forțele terestre realist la mână, asigură șase grade de libertate pentru urmărirea poziției și măsoară cu precizie translația și rotația mâinii pe trei axe.



Dispozitivul haptic EXOS
Dextrous Hand Master. [Exo Inc.]

- ▶ **EXOS Dextrous Hand Master** este un master controller pentru robotul de la MIT – **Dextrous Hand**.
- ▶ Este un dispozitiv exoschelet care se montează peste mână și degete.

- ▶ **SAFiRE (Sensing and Force Reflection Exoskeleton)** este un dispozitiv master cu retur de forță pentru degete și încheietură.
- ▶ Numărul gradelor de libertate variază între 2,5,8 sau 11.



Dispozitivul haptic SAFiRE
[Iowa State University]

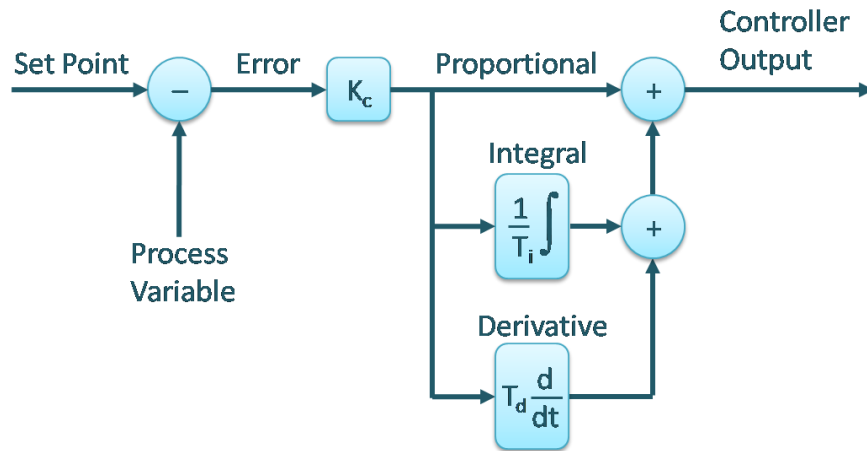
Planificarea miscarilor si comanda robotilor medicali

Concepte de actionare si control a robotilor



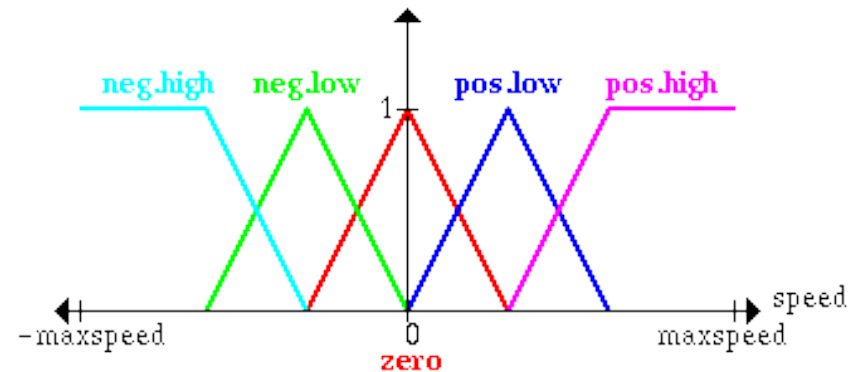
- ▶ Cercetarile privind utilizarea controlului avansat al robotilor au fost doar partial atinse pana acum sau sunt in curs de cercetare, in principal datorita noutatii domeniului.
- ▶ Strategiile de dezvoltare ale robotilor industriali de pana acum s-au orientat spre optimizarea structurilor de roboti existente tinand cont de anumiti parametri. Dezvoltarea unor roboti cu capacitati superioare implica o combinatie optima intre un spatiu de lucru cat mai mare, rigiditate ridicata, viteze de executie mari, precizie de pozitionare ridicata etc.
- ▶ In prezent robotii paraleli reprezinta varful cercetarilor pe plan mondial in domeniul roboticii datorita avantajelor structurii lor fata de robotii seriali cum ar fi rigiditatea mare, precizia buna, viteza si acceleratie mare precum si un raport foarte bun intre masa robotului si masa manipulata. Totusi, precizia lor inca poate fi imbunatatita, in special prin utilizarea unor algoritmi adecvati de control.
- ▶ Exista diferite metode si tehnici de actionare si control al robotilor (algoritmi de control):
 - Controlul robotilor prin utilizarea solutiilor clasice (variante de control PID – proportional–integral–derivativ);
 - Controlul robotilor prin utilizarea unor solutii avansate (algoritmi de tip fuzzy, PID adaptiv, algoritmi adaptiv–predictivi bazati pe model);
- ▶ Algoritmii de identificare (algoritmii matematici) cel mai des implementati in aplicatii sunt: algoritmi bazati pe utilizarea metodei celor mai mici patrute sau algoritmi bazati pe utilizarea retelelor neuronale.

Concepte de actionare si control a robotilor



Control PID – proportional integral derivativ

- ▶ Un PID controller este un mecanism generic de control cu bucla de feedback, utilizat pe scară largă pentru sistemele de control industrial.
- ▶ Acest controller calculează o "eroare", diferența dintre o variabilă de proces măsurată și o valoare de referință dorită, iar regulatorul încearcă să minimizeze eroarea prin ajustarea datelor de intrare folosite în controlul proceselor.



Control logica fuzzy

- ▶ Un sistem de control fuzzy este un sistem de control bazat pe logica fuzzy – un sistem matematic care analizează valorile de intrare analogice în termeni de variabile logice care iau valori continue între 0 și 1, în contrast cu logica clasică sau digitală, care operează pe valori discrete fie 1 sau 0 (adevărat sau fals).
- ▶ Logica fuzzy este utilizată pe scară largă și în controlul mașinilor unelte.

Concepte de actionare si control a robotilor



- ▶ In functie de sursa de informație se definește modul de operare al robotului, caracteristicile de bază ale funcționării acestuia, structura algoritmilor de conducere în funcție de specificul operației, de modul de prelucrare a informației de bază (în timp real sau nu) și de relația robot – operator existentă în procesul de operare. Această relație poate determina funcționarea automată (independentă) a robotului sau în asociere cu operatorul (de exemplu sistemele de teleoperare).
- ▶ Robotul, este format din două părți: unitatea de prelucrare a informației și unitatea operațională. Unitatea de prelucrare a informației este un complex hardware–software ce primește date privind instrucțiunile ce definesc operațiile executate, măsurători privind starea unității operaționale, observații asupra spațiului de operare al robotului, date pe baza cărora determină în conformitate cu algoritmi de conducere stabiliți, deciziile privind modalitatea de acționare a unității operaționale.
- ▶ Unitatea operațională corespunde robotului propriu–zis cuprinzând structura mecanică a acestuia și sistemul de acționare asociat. Această unitate acționează asupra spațiului de operare utilizând și transformând energia furnizată de sursă și reacționând adecvat la semnalele primite din exterior.
- ▶ In cazul unui **robot chirurgical**, care este pus în situația de a desfășura acțiuni similare cu cele ale operatorului uman, avem nevoie de numite dispozitive prin care să se culeagă informații din mediul de lucru, să se realizeze interacțiunea robot – mediu cu ajutorul unor caracteristici ale mediului sau ale obiectelor din mediu și o unitate centrală care să prelucreze în **timp real** informația senzorială și să o transforme într-o formă utilă pentru sistemul de comandă.

Actionarea si controlul robotilor medicali



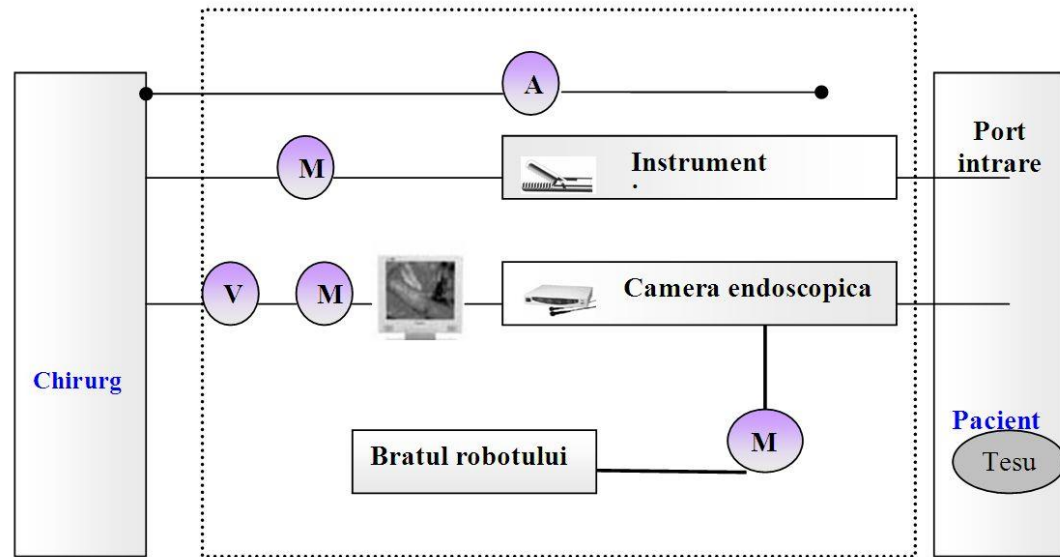
- ▶ Principalele cerințe din punct de vedere al sistemului de comanda pe care un robot destinat chirurgiei minim invazive trebuie să le îndeplinească sunt:
 - Să permita implementarea comenzilor vocale pentru conducerea instrumentelor pasive (ex. laparoscop);
 - Să elimine tremurul mâinii chirurgului in cazul folosirii unui dispozitiv haptic prin filtrarea si scalarea semnalelor de intrare primite;
 - Să permită blocarea rapidă și imediată a robotului în cazul urgențelor;
 - Sa permita implementarea returului de forță prin folosirea unui dispozitiv haptic prin care se conduce robotul;
 - Să se evite posibilitatea afectării sistemului de radiații de tip electromagnetic;
 - Să permita implementarea unor functii de securitate astfel încât chirurgul să fie avertizat în timp util in cazul întâmpinării unor probleme aparute de orice tip.
- ▶ În ceea ce privește interfața, aceasta trebuie să permită doctorului să lucreze cât mai ușor cu robotul, dar totodată aceasta nu trebuie să fie foarte încărcată, pentru a nu distrage atenția chirurgului de la detaliile operației.
- ▶ **Comunicația în timp real** între componentele sistemului robotic este foarte importanta, mai ales că sistemul robotic se interpune între chirurg și pacient;

Actionarea si controlul robotilor medicali



- ▶ Arhitectura tipica a robotilor chirurgicali respectă configurația clasică de teleoperație **master/slave**.
- ▶ Aceasta configurație cuprinde două module: **consola chirurgului (master)** și **robotul (slave)**.
- ▶ Consola include un set de manete, sistem de viziune și componente de comandă vocală.
- ▶ În cazul în care chirurgul interacționează cu robotul cu ajutorul unui dispozitiv haptic pentru mișcarea instrumentelor, forțele și momentele de torsiune generate de mâna chirurgului vor fi sesizate de către senzorul de forță/torsiune și transferate robotului.

Interfața om-mășină pentru diverse acțiuni chirurgicale se poate reprezenta schematic.



(A) – audio, (M) – mișcare, (V) – vizualizare



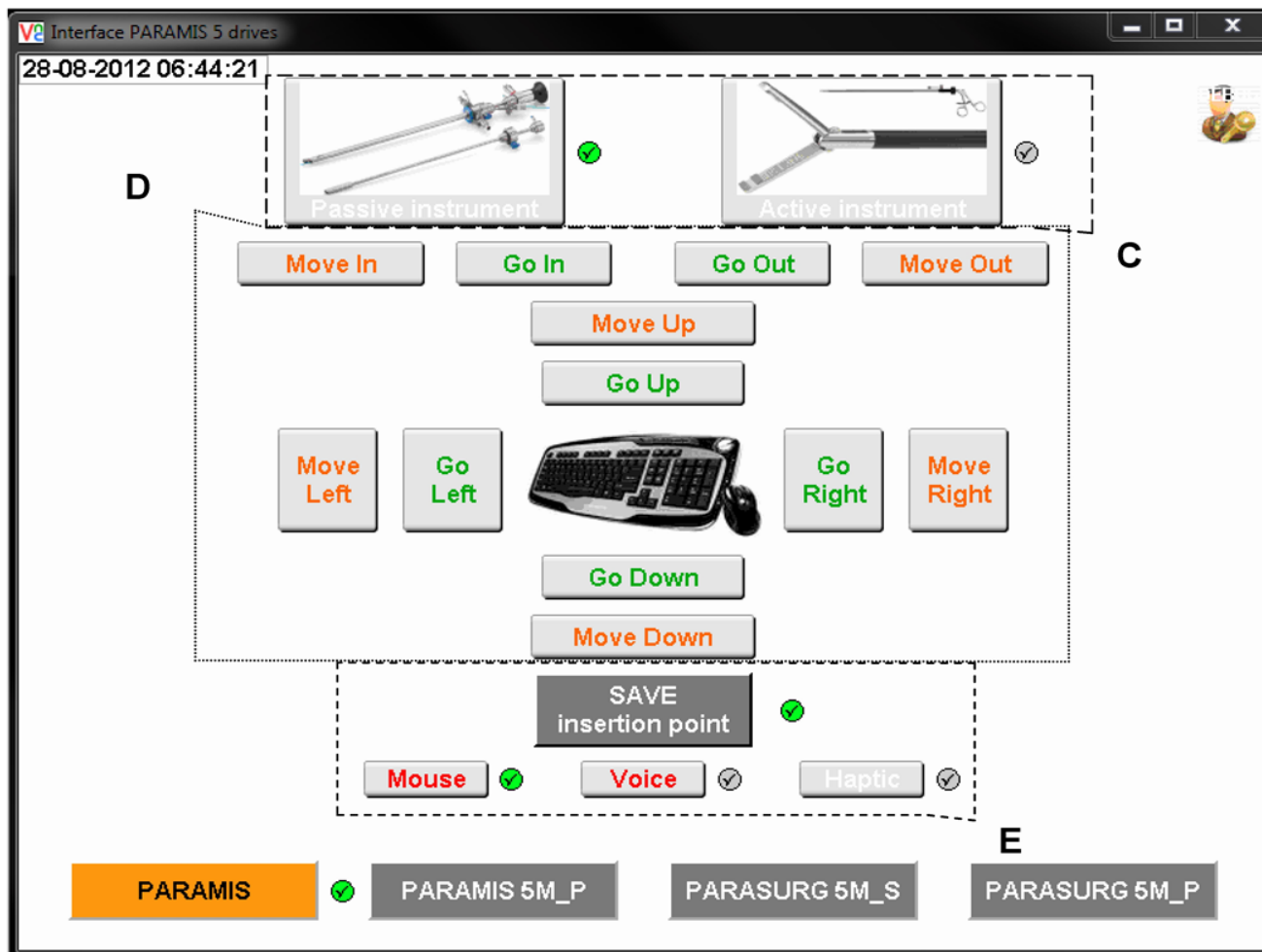
Comenzile specifice sistemului robotizat de chirurgie



- ▶ Comenzile sistemului robotic chirurgical se pot împărți în patru categorii majore:
 - comenzile de inițializare a sistemului;
 - comenzile de setare a parametrilor de lucru;
 - comenzile de poziționare a efectorului final în spațiul de lucru;
 - comenzile specifice miscarilor pe care le va efectua efectorul în timpul intervenției chirurgicale.

- ▶ Comanda sistemului robotic PARMIS (incluzând robotii PARAMIS, PARAMIS 5_MP, PARASURG 5M, PARASURG 5_MP) se poate realiza utilizând următoarele tipuri de sisteme de comandă:
 - Keyboard + Mouse – instrumente pasive;
 - Comanda vocală – instrumente pasive;
 - Dispozitiv haptic (sistem de poziționare și orientare) – instrumente active.
 - Comanda directă (Keyboard + Mouse): pentru comenzi individuale pe fiecare motor, cu scop de testare a cuplelor motoare a robotului. !! Acest tip de comandă este tratat separat pentru că nu permite controlul poziției vârfului laparoscopului și se folosește doar pentru operații de verificare. NU se permite comanda robotului cu endoscopul atașat utilizând acest mod de comandă.

Interfata de comanda pentru sistemul robotic PARMIS



Rezumat



- ▶ Prezentarea pe scurt a tipurilor de roboti medicali existenti si o clasificare a lor in functie de domeniul in care sunt folositi.
- ▶ Definirea conceptelor de telemedicina si telechirurgie.
- ▶ Prezentarea conceptului pe care se bazeaza dispozitivele haptice.
- ▶ Exemple de dispozitive haptice si domeniul de utilizare a lor.
- ▶ Planificarea miscarilor si comanda robotilor medicali.
- ▶ Metode de comanda utilizate. Sistemul de comandă și control al sistemului chirurgical PARMIS.

Întrebări



1. Ce tipuri de roboti medicali cunoasteti?
2. Ce este telechirurgia?
3. Ce sunt dispozitivele haptice?
4. Care sunt metodele folosite pentru actionarea robotilor?

Raspunsuri



1. Roboti ajutoare medicale si chirurgicale. Roboti de terapie. Roboti de ghidare si pozitionare a instrumentelor medicale. Tele-Roboti (controlati de om).
2. Comanda la distanță a roboților implicați în intervențiile chirurgicale.
3. Dispozitivele haptice sunt dispozitive mecanice care intermediază comunicarea dintre utilizator și computer. Aceste dispozitive permit utilizatorilor să atingă, să simtă și să manipuleze obiecte tri-dimensionale în medii virtuale.
4. Controlul robotilor prin utilizarea solutiilor clasice (variante de control PID – proportional–integral–derivativ) si controlul robotilor prin utilizarea unor solutii avansate (algoritmi de tip fuzzy, PID adaptiv, algoritmi adaptiv–predictivi bazati pe model);

Bibliografie



- ▶ In-vivo Micro Robot, <http://www.ritsumei.ac.jp/se/rm/robo/robogallery-e.htm>
- ▶ RP-7i ROBOT, <http://www.intouchhealth.com/products-and-services/products/rp-7i-robot/>
- ▶ Hippocrate robot, <http://www.pinterest.com/katyborluevie/robots/>
- ▶ D. Pislă, „Modelarea cinematică și dinamică a roboților paraleli, Cluj-Napoca, Editura Dacia, ISBN: 973-35-1941-3, 2005.
- ▶ Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, Butner SE, Smith MK., „Transatlantic robot-assisted telesurgery”, Nature 2001;413:379-80.
- ▶ Hsin-Yun Y., Hayward V.: “A Tactile Enhancement Instrument for Minimally Invasive Surgery”, Computer Aided Surgery, 2004, Vol. 10, No. 4, pp. 233-239.
- ▶ University of Washington, 2009, <http://brl.ee.washington.edu>
- ▶ Microsoft Corporation, 2009, www.microsoft.com
- ▶ Novint Inc., <http://home.novint.com>, 2011
- ▶ VRLOGIC Inc., 2009, <http://www.vrlogic.com>

Bibliografie



- ▶ Force Dimension, 2011, <http://www.forcedimension.com>
- ▶ Exo Inc., 2009, www.exo.com
- ▶ Iowa State University, 2009, www.iastate.edu
- ▶ D. Pislă, A. Szilaghyi, C. Vaida, N. Plitea, Kinematics and workspace modeling of a new hybrid robot used in minimally invasive surgery, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 29, Issue 2, April 2013, Pages 463–474, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2012.09.016>
- ▶ A. Szilaghyi, A. Stoica, D. Pislă, C. Vaida and N. Plitea, „Kinematics Analysis of a Parallel Surgical Robot”, Advances in Robot Kinematics Innsbruck, Austria, June 24–28 2012, published in Latest Advances in Robot Kinematics, Springer, pp 333–340, DOI: 10.1007/978-94-007-4620-6_42, 2012
- ▶ A. Cs. Szilaghyi, “Cercetări privind modelarea, simularea și comanda unui robot paralel-hibrid chirurgical”, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, 2012.
- ▶ A. Stoica, D. Pislă, A. Szilaghyi, B. Gherman, N. Plitea, „Workspace and Singularity Analysis for a Parallel Robot Used in Surgical Applications”, New Trends in Mechanism and Machine Science, Mechanisms and Machine Science, Volume 7, pp 149–157, 2013.