

CESTER

ROBOTICA MEDICALA

CURS 7

**Simulatoare chirurgicale si simulatoare chirurgicale
asistate robotic**

Prof. Dr.Ing. Doina PISLA

CUPRINS

- Obiective curs.
- Concepte utilizate.
- Componentele simulatoarelor chirurgicale.
- Caracteristicile simulatoarelor chirurgicale.
- Bibliografie

Obiective curs

- Familiarizarea studentilor cu notiuni specifice utilizate la dezvoltarea simulatoarelor chirurgicale
- Însusirea conceptelor de baza în dezvoltarea simulatoarelor chirurgicale
- Cunoasterea componentelor unui simulator chirurgical
- Cunoasterea etapelor de realizare a unui simulator chirurgical
- Cunoasterea algoritmilor de baza și a principalelor abordări în dezvoltarea unui simulator chirurgical

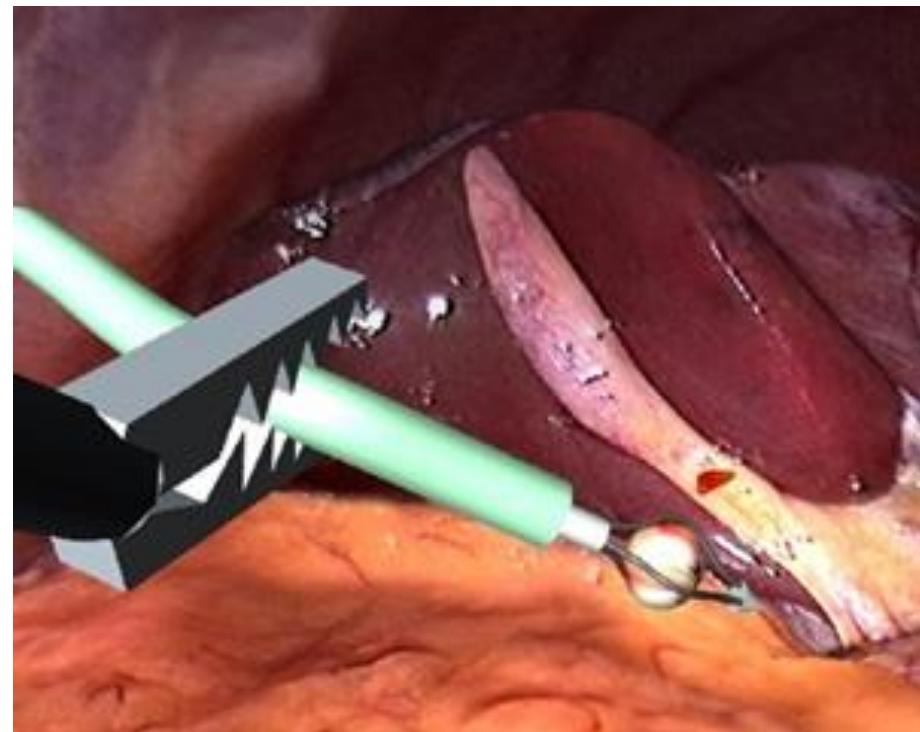
Ce este un simulator chirurgical?



- ▶ Instrument de invatare
- ▶ Instrument de dezvoltare a dexteritatii in utilizarea instrumentelor chirurgicale
- ▶ Instrument de dezvoltare a cunostintelor
- ▶ Parte a formarii medicale

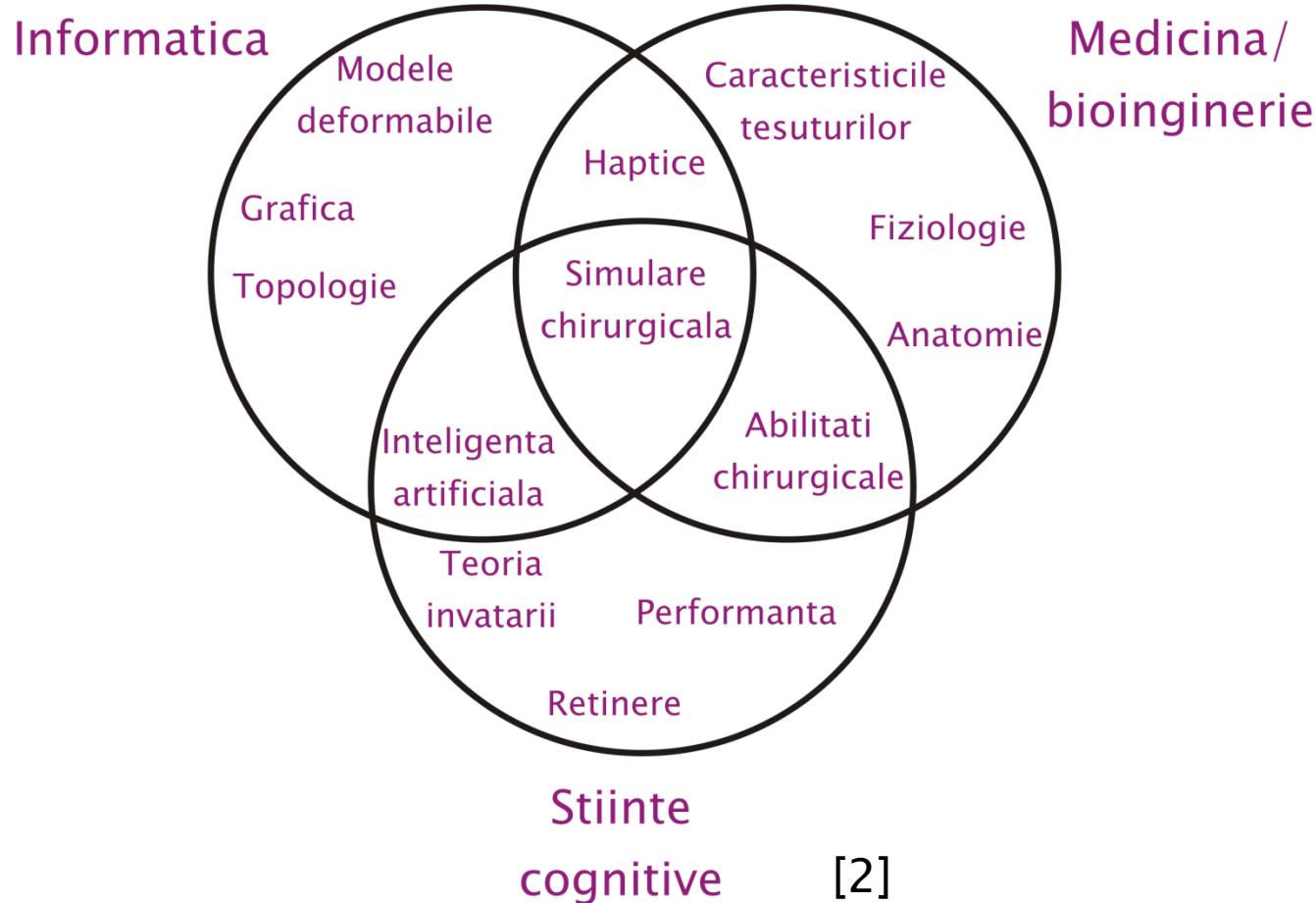
Ce ar trebui sa contine un simulator chirurgical?

- ▶ Pacientul virtual
- ▶ Abilitatea de a mima proprietatile tesuturilor (deformatii, sangerari, taieri)
- ▶ Un raspuns fiziologic



Simulatorul chirurgical da Vinci [1]

Fundamentele simulațoarelor chirurgicale

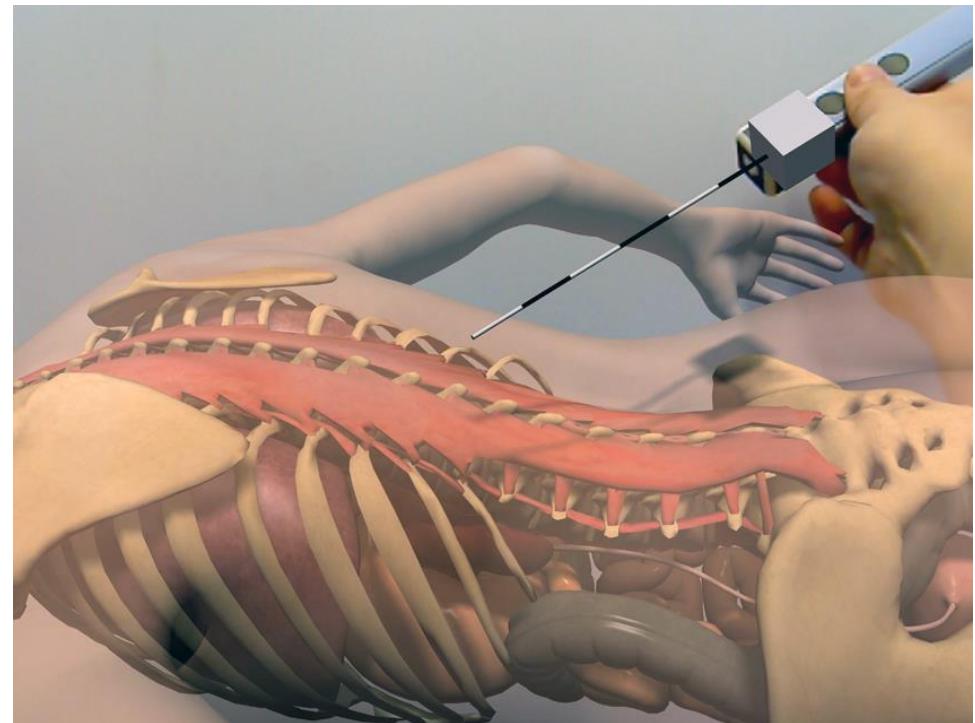


Componentele unui simulator chirurgical

- ▶ Modelul pacientului virtual
- ▶ Input: captarea actiunilor utilizatorului
- ▶ Feedback
 - Vizual
 - Haptic
- ▶ Dezvoltarea si controlul scenariului

Pacientul virtual

- ▶ Descriere anatomica
- ▶ Descriere geometrica
- ▶ Descriere hemodinamica
- ▶ Descriere fiziologica



Pacientul virtual [3]

Principalele aspecte

- ▶ Detectia coliziunii
- ▶ Feedback tactil si de forta
- ▶ Actiuni chirurgicale (taiere, prindere, coasere)
- ▶ Creare scenariilor

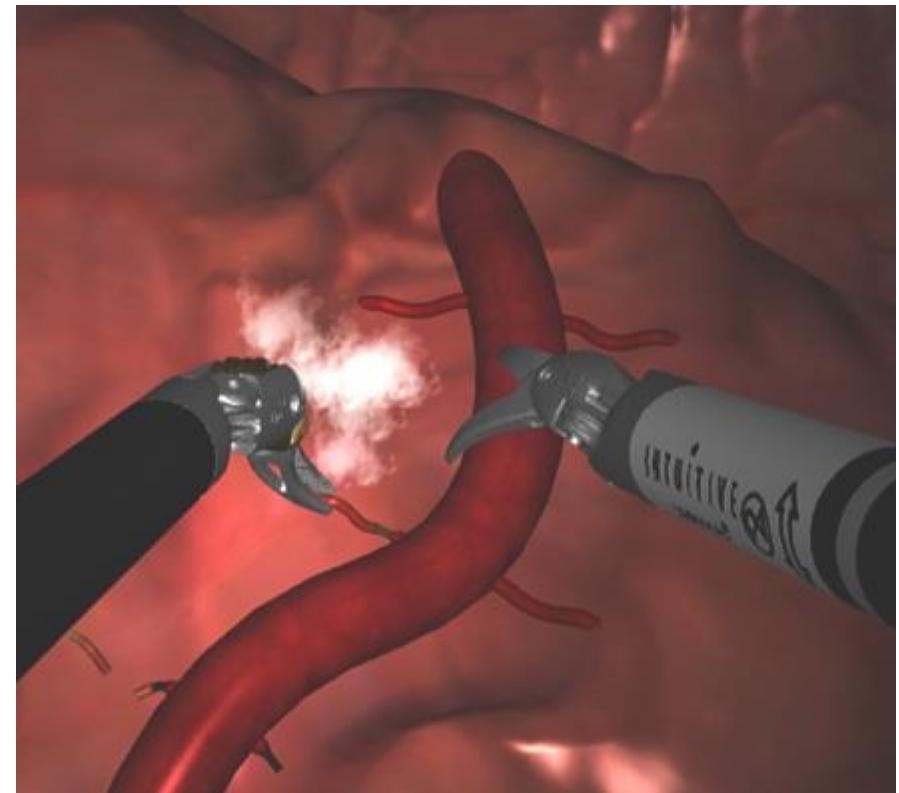
Detectarea coliziunilor

► Identificarea interactiunii intre:

- Instrument chirurgical si tesut
- Tesuturi
- Instrumente

► Tipuri de interactiuni

- Contact
- Penetrare
- Apropiere



Simulatorul chirurgical da Vinci [4]

Detectarea coliziunilor

- ▶ Algoritmi bazati pe constructii predefinite: vertex, linii, fete
- ▶ Convergenta iterativa spre cea mai apropiata constructie predefinita a poliedrului testat
- ▶ Exemple:
- ▶ 1. Algoritmul Lin-Canny [5]
 - Calculeaza cele mai apropiate constructii predefinite
 - Numar liniar de vertecsi
 - Timp considerat constant daca se foloseste coerenta temporala
- ▶ 2. Algoritmul V-Clip [6]
 - Permite penetrarea obiectelor
 - Robustete ridicata in cazul configuratiilor degenerate
 - Codul este semnificativ mai simplu decat cea a algoritmului Lin-Canny

Detectarea coliziunilor

► 3. Algoritmul GJK (Gilbert, Johnson si Kerrthi) si GJK imbunatatit [7]

- Se bazeaza pe tehnici de programare liniara
- Ofera posibilitatea estimarii distantei de penetrare
- Foloseste coerenta temporala si functioneaza utilizand timp constant

Detectarea coliziunilor

Volume de incadrare



- ▶ Nu se pot folosi pentru a urmari obiecte aflate la distanta
- ▶ Multe librarii de detectare a coliziunilor folosesc o abordare pe doua nivele pentru detectarea coliziunilor:
 - Simplificarea obiectelor neinteresante care fie:
 - Sunt prea departe
 - Nu se estimeaza o coliziune in urmatoarele “n” intervale de timp
 - Verifica doar coliziunile intre obiecte asemanatoare (sfere, cuburi)

Detectarea coliziunilor utilizand echipamente hardware

[8]



- ▶ Detectare dinamica a coliziunii (nu necesita considerarea unor unitati discrete de timp)
- ▶ Nu necesita structuri de date aditionale
- ▶ Foloseste echipamente grafice cunoscute (bazate pe OpenGL)
- ▶ Detecteaza mai multe puncte de contact intr-o singura trecere
- ▶ Ruleaza la o frecventa a cadrelor interactiva (depinde de echipament)

Detectarea coliziunilor utilizand echipamente hardware



- ▶ Instrumentele laparoscopice se misca in jurul unui punct – pivot
- ▶ La fiecare pas in timp, instrumentul se misca (aproape) in linie dreapta
- ▶ Volumul indepartat de catre instrument aproximeaza cadrul de vizualizare
- ▶ Foloseste OpenGL pentru a defini cadrul, apoi genereaza imaginea
- ▶ Tot ceea ce este vizibil se datoreaza intersectarii obiectelor cu traectoria instrumentelor

Detectarea coliziunilor -probleme deschise-

- ▶ Multitudine de puncte de contact
 - Organ/organ, coasere, palpare
 - Ineficienta algoritmilor actuali in rezolvarea acestor probleme
- ▶ Deformatii, modificarea topologiei
- ▶ Auto-coliziuni (realizarea nodurilor)
- ▶ Detectarea coliziunilor utilizand o reprezentare volumetrica
- ▶ Necesitatea lucrului in timp real

Feedback tactil si de forta

- ▶ Feedback-ul tactil si de forta (haptic) furnizeaza informatii vitale chirurgilor legate de:
 - Palpare
 - Rezistenta la inaintare

Feedback tactil si de forta

Echipamente existente

Phantom [9]

- ▶ Senzorii ofera date de miscare pe sase axe (grade de libertate – gdl)
- ▶ Feedback de forta pe 3 gdl
- ▶ Bucla feedback-ului de forta trebuie sa fie foarte des actualizata: rate de refresh de 1kHz



Feedback tactil si de forta

Echipamente existente

Novint Falcon [10]

- ▶ Senzorii ofera date de miscare pe trei axe
- ▶ Feedback de forta pe 3 gdl
- ▶ Interfata USB
- ▶ Cost redus (aprox 300 €)



Feedback tactil si de forta

Echipamente existente

Mimic Technologies [11]

- ▶ Senzorii ofera date de miscare pe sase axe
- ▶ Feedback de forta pe 3 gdl
- ▶ Tehnologie bazata pe fire



Feedback tactil si de forta

Echipamente existente

Sigma.7 [12]

- ▶ Senzorii ofera date de miscare pe sapte axe
- ▶ Feedback de forta pe 7 gdl (inclusiv mecanismul de prehensiune)
- ▶ Actionare duala: mana stanga–mana dreapta

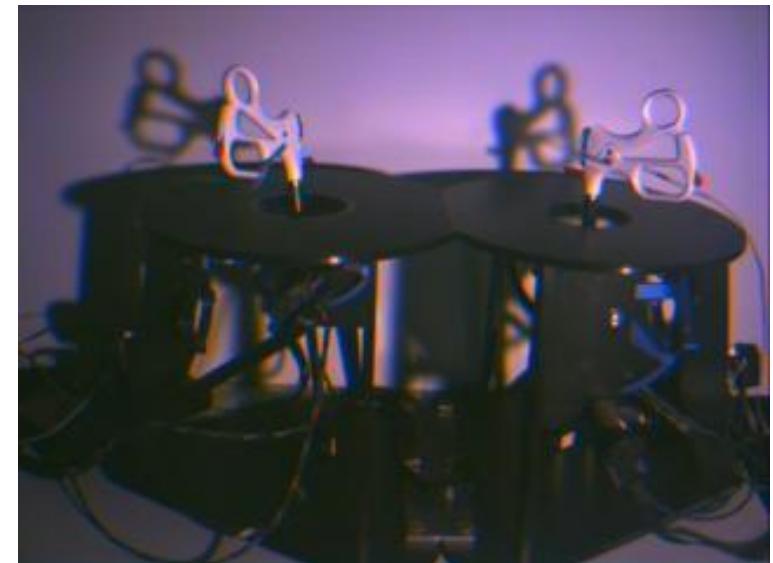


Feedback tactil si de forta

Echipamente existente

Virtual Laparoscopic Interface / Laparoscopic Impulse Engine [13]

- ▶ Echipament de interfata pentru simularea procedurilor laparoscopice
- ▶ Senzorii ofera date de miscare pe cinci axe pentru o mana

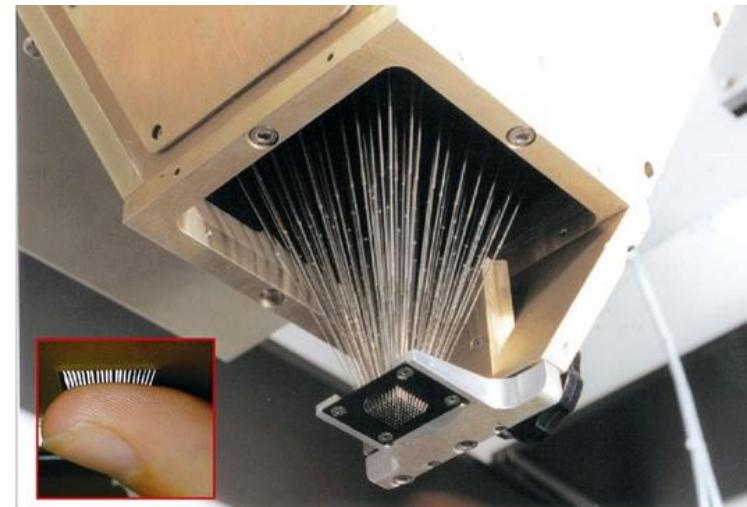


Feedback tactil si de forta

Echipamente existente

400 Pin Tactile Array [14]

- ▶ 400 fire controlate individual, la 0.5 mm distanta intre ele
- ▶ Dezvoltat la John Hopkins University pentru cercetari in domeniul raspunsului tactil spatial-temporal

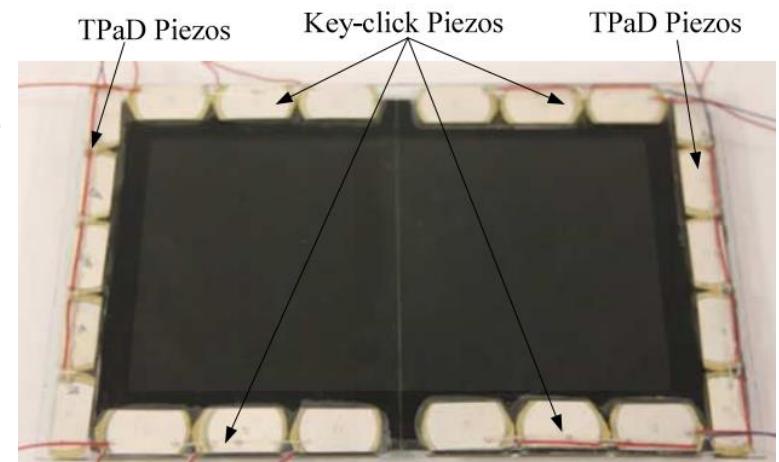


Feedback tactil si de forta

Echipamente existente

TouchMaster [15]

- ▶ Reprezinta o interfata grafica, feedback-ul tactil este redat pe un ecran cu touchscreen
- ▶ Foloseste piezo-actuatori
- ▶ Se poate conecta la dispozitive mobile moderne



Feedback tactil si de forta

-probleme deschise-



- ▶ Marea majoritate a dispozitivelor haptice furnizeaza doar feedback de forta, feedback-ul tactil lipseste
- ▶ Dispozitivele asigura feedback de forta prin discretizare in puncte a obiectelor (e nevoie de suprafete)

Actiuni chirurgicale – taierea

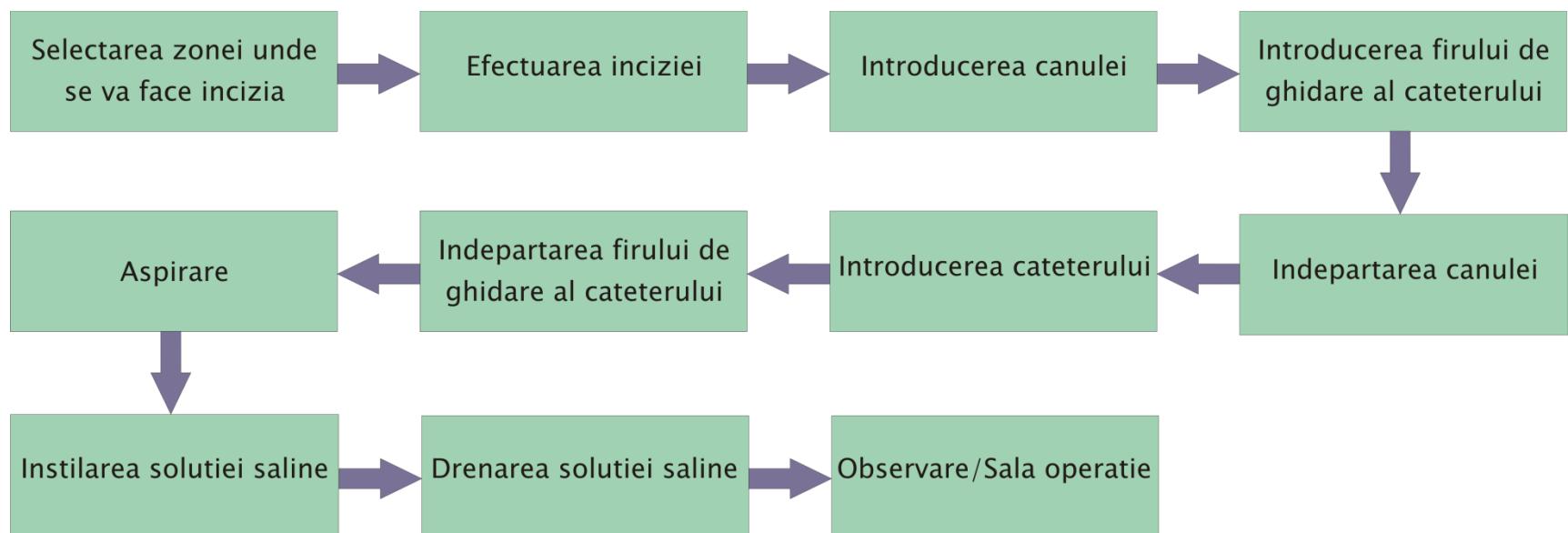
Directii de cercetare



- ▶ Realizarea unor taieri precise: sciziunea elementelor de-a lungul liniei de taiere
- ▶ Taiere progresiva
- ▶ Raspuns in timp real
- ▶ Modificarea in topologii de baza: incizii, separarea in doua obiecte
- ▶ Utilizarea modelului masa–arc in cazul ruperilor
- ▶ Gestionarea numarului mare de poligoane care sa acopere zonele tajate
- ▶ Deformari in timp real

Dezvoltarea si controlul scenariului

- ▶ Determina fluxul simularii
- ▶ Raspunde la actiunile utilizatorului: actiuni potrivite sau nepotrivite
- ▶ Exemplu de scenariu: cateterizarea arterei pulmonare



Dezvoltarea si controlul scenariului



- ▶ Nevoia pentru un limbaj de modelare necesar specificarii unui scenariu sau crearii cazurilor specifice
- ▶ Dezvoltarea unei metode de creare a noi cazuri de carte personal nespecialist
- ▶ Motor de control al scenariului utilizabil in orice simulator
- ▶ O posibila solutie o reprezinta SOFA – Open Source Framework for Medical Simulation [16]

Sangerarea

- ▶ Toate procedurile chirurgicale presupun sangerari
- ▶ Tipuri de sangerari: tansnire, curgere, supurare
- ▶ Ecuatia Navir-Stokes [17]

$$\rho \left(\frac{\partial \nu}{\partial t} + \nu \cdot \nabla \nu \right) = -\nabla p + \nabla T + f$$

ν -viteza de curgere, ρ -densitatea fluidului, T -tensor de tensiune, f -forta de volum, ∇ -nabla operator

- ▶ Sisteme de particule (simplu de inteles si animat, dar e nevoie de numar mare de particule sau texturi animate)
- ▶ Oprirea sangerarii: coagulare (nu s-au efectuat cercetari in acest sens)

Generarea fumului

- ▶ Apare la taiere si coagulare folosind electricitate, ultrasunete sau generare de caldura
- ▶ Se genereaza folosind texturi sau dinamica fluidelor
- ▶ In cazul texturilor, se pot utiliza metode 2D (utilizand nor de particule, apoi maparea texturii asupra planului si modificarea orientarii acestuia sau prin suprapunerea unor serii de nori de particule, cresterea dimensiunii si transparentei acestora)

Rezumat

- ▶ Componentele simulatoarelor chirurgicale
- ▶ Caracteristicile de baza ale simulatoarelor chirurgicale
- ▶ Principalele aspecte abordate in dezvoltarea simulatoarelor:
 - Coliziuni
 - Feedback tactil si de forta
 - Dezvoltarea si controlul scenariilor

Intrebări

1. Care sunt principalele tipuri de interacțiuni întâlnite în cadrul simulatoarelor?
2. Numiți un algoritm de detectare a coliziunilor și câteva caracteristici ale acestuia.
3. Numiți două posibilități de generare a fumului în cazul unui simulator chirurgical

Raspunsuri

1. Contact, penetrare, apropiere
2. Algoritm GJK (Gilbert, Johnson si Kerrthi)
 - a. Se bazeaza pe tehnici de programare liniara
 - b. Ofera posibilitatea estimarii distantei de penetrare
 - c. Foloseste coerență temporală și funcționează utilizând timp constant
3. Generarea fumului se poate face:
 - a. cu ajutorul texturilor
 - b. utilizând dinamica fluidelor

Bibliografie

- ▶ [1] - da Vinci Skills Simulator,
http://www.intuitivesurgical.com/products/skills_simulator/, 2013
- ▶ [2] - Liu A., Tendick F., Cleary K., Kaufmann C.: A Survey of Surgical Simulation: Applications, Technology, and Education, *Presence*, 12(6), 2003, 599–614
- ▶ [3] - Virtual Proteins Microlab Simulator, Center for Translational Molecular Medicine
- ▶ [4] - Sun L.W., Van Meer F., Schmid J., Bailly Y., Thakre A.A., Yeung C.K.: Advanced da Vinci Surgical System simulator for surgeon training and operation planning, *Int J Med Robot*, 3(3), 2007, 245–251
- ▶ [5] - Lin M.C., Canny J.F.: A Fast Algorithm for Incremental Distance Calculation, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Sacramento, California, 1991
- ▶ [6] - Mirtich B.: V-Clip: Fast and Robust Polyhedral Collision Detection, *ACM Transactions on Graphics*, 17(3), 1998, 177–208

Bibliografie

- ▶ [7] – Rubio J.J., Garcia E., Pacheco J.: Trajectory planning and collisions detector for robotic arms, *Neural Computing and Applications*, 21(8), 2012, 2105–20114
- ▶ [8] – Lombardo J.C., Cani M.P., Neyret F.: Real-time Collision Detection for Virtual Surgery, CA'99 Proceedings of the Computer Animation, 1999, ISBN: 0-7695-0167-2, 82
- ▶ [9] – Phantom, Sensable Technologies,
<http://geomagic.com/en/products/phantom-premium-6dof/overview>, 2013
- ▶ [10] – Novint Falcon, <http://www.novint.com/index.php/novintfalcon>, 2013
- ▶ [11] – Mimic Technologies, <http://www.mimicsimulation.com/>, 2013
- ▶ [12] – Sigma.7, Force Dimension,
<http://www.forcedimension.com/sigma7-overview>, 2013

Bibliografie

- ▶ [13] – Virtual Laparoscopic Interface, Immersion Corporation, <http://www.immersion.com/haptics-technology/haptics-in-use/medical.html>, 2013
- ▶ [14] – Pawluk D.T.V., van Buskirk C.P., Killebrew J.H., Hsiao S.S., Johnson K.O.: Control and pattern specification for a high density tactile display, Proc. of the ASME Dynamic Systems and Control Division, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 64, 97–102
- ▶ [15] – Xiaowei, D., Jiawei G. et al.: SlickFeel: Sliding and Clicking Haptic Feedback on a Touchscreen, UIST, 7–10 Oct., Cambridge Massachusetts, USA, 2012
- ▶ [16] – SOFA, <http://www.sofa-framework.org/>, 2013
- ▶ [17] – http://en.wikipedia.org/wiki/Navier%E2%80%93Stokes_equations, 2013