

# Interfețe om-mașină bazate pe realitate augmentată/virtuală și prelucrare de imagini în chirurgia minim invazivă

**Anca Morar, Alin Moldoveanu, Florica  
Moldoveanu, Victor Asavei, Lucian Petrescu,  
Oana Balan**

Universitatea POLITEHNICA din București

Splaiul Independenței, nr. 313, București,  
060032, Romania

anca.morar@cs.pub.ro,  
alin.moldoveanu@cs.pub.ro,  
florica.moldoveanu@cs.pub.ro,  
victor.asavei@cs.pub.ro,  
lucian.petrescu@cti.pub.ro,  
oanab\_2005@yahoo.com

**Ionuț Negoii, Sorin Hostiuc**

Universitatea de Medicină și Farmacie Carol  
Davila București

Strada Dionisie Lupu, nr. 37, București

negoiiionut@gmail.com,  
sorin.hostiuc@umf.ro

## REZUMAT

Chirurgia minim invazivă (CMI) a devenit o practică uzuală în ultimele decenii. Avantajele acestui tip de procedură provin din reducerea sau chiar eliminarea inciziilor. Totuși, există o serie de limitări de care trebuie să se țină cont. Lipsa feedback-ului vizual 3D și haptic, complexitatea mânării instrumentelor chirurgicale și dificultatea coordonării mână-ochi pot conduce la accidente. Cercetătorii în domeniul informatic oferă o mulțime de unelte de asistare a chirurgilor în etapele pre-și intra-operatorii ale CMI. Acest articol analizează evoluția uneltelor de asistare în chirurgie și de interacțiune om-calculator bazate pe realitate virtuală/augmentată și prelucrare de imagini, sintetizând trăsături comune, limitări și tendințe de dezvoltare. De asemenea, sunt discutate o serie de soluții pentru problemele existente.

## Cuvinte cheie

Prelucrare de imagini, realitate augmentată, realitate virtuală, chirurgie minim invazivă, imagistică medicală.

## Clasificare ACM

H5.1. Multimedia Information Systems: Artificial, augmented and virtual realities, J.3. Life and Medical Sciences: Medical information systems

## INTRODUCERE

CMI reprezintă o procedură medicală în care un chirurg inserează un laparoscop/endoscop care conține o cameră video, precum și o serie de instrumente chirurgicale prin incizii de dimensiuni mici sau prin cavități naturale. Unele dintre cele mai uzuale operații minim invazive sunt endoscopia, laparoscopia și NOTES (“Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery”). Endoscopia este o procedură medicală prin care o cavitate a corpului este examinată vizual prin instrumente tubulare numite endoscoape. Laparoscopia este o procedură chirurgicală în care un laparoscop și alte instrumente sunt inserate prin incizii de dimensiuni mici. NOTES este un tip de

endoscopie care permite accesul la organele peritoneale prin orificii naturale pentru diagnosticare sau terapie [20].

Spre deosebire de operațiile deschise, CMI presupune foarte multe unelte de interacțiune om-calculator. Într-un studiu comparativ realizat de Shinohara [33], s-au identificat cel puțin următoarele unelte electronice folosite în CMI a cancerului de colon: un sistem electronic endoscopic, un insuflator automat, un sistem de tăiere cu ultrasunete, un sistem de coagulare. În schimb, singurul instrument electronic folosit în chirurgia deschisă este un dispozitiv de cauterizare. Astfel, procedurile minim invazive necesită intens suportul calculatorului, putând beneficia de interfețe evaluate om-calculator. Conform cu Grange și alții [32], un sistem de interacțiune om-calculator de succes are o încărcare cognitivă scăzută a chirurgului în privința utilizării calculatorului, oferindu-i în același timp control direct asupra proceselor automate.

Inciziile de dimensiuni mici sau lipsa inciziilor contribuie la reducerea traumei post-operatorii și scurtarea timpului de recuperare a pacientului [21]. Cu toate că avantajele sunt notabile, există o serie de dezavantaje în chirurgia minim invazivă. Complexitatea controlului instrumentelor, dificultatea coordonării mână-ochi, vizibilitatea și mobilitatea limitată precum și lipsa percepției tactile [1, 3, 6] pot ridica dificultăți pentru chirurghi neexperimentați. Știința calculatoarelor poate ajuta în depășirea parțială sau totală a unor limitări ale CMI. Realitatea virtuală (RV) este un instrument foarte folositor pentru simulări chirurgicale, o alternativă mai ieftină la antrenarea chirurgilor pe cadavre sau animale. În schimb, realitatea augmentată (RA) permite navigarea în procedurile minim invazive unde imaginea câmpului operator este augmentată prin adăugarea de date folosite generate de calculator [6]. Prelucrarea imaginilor medicale poate asista de asemenea în intervențiile minim invazive, fie prin facilitarea comunicării în sistemele de interacțiune om-calculator, fie prin monitorizarea acțiunilor chirurgilor. Acest articol prezintă principalele tendințe ale tehnicilor de RA/RV și de prelucrare de imagini asociate CMI precum și unele din cele mai folosite metode de

interacțiune om-calculator pentru laparoscopie/endoscopie. A doua secțiune a articolului prezintă medii virtuale care permit antrenarea chirurgilor pentru diferite operații. Tot aici se evidențiază utilitatea RV în telemedicină prin sistemul daVinci și unele extensii ale sale în CMI. În a treia secțiune se discută rolul achiziției imaginilor pre-operatorii și suprapunerea lor pe imagini operatorii laparoscopice. A patra secțiune analizează o serie de metode de asistare a chirurgilor, bazate pe prelucrarea imaginilor. Sunt scoase în evidență provocările tehnologice în CMI și se discută soluții posibile.

### REALITATEA VIRTUALĂ ÎN CMI

O intervenție chirurgicală deschisă este caracterizată prin feedback tactil direct și vizibilitate a câmpului operator. În schimb, CMI poate fi comparată cu o procedură la distanță, deoarece rezultatul unei acțiuni realizate de chirurg se poate observa printr-o cameră video. Din acest motiv procedurile minim invazive pot fi asociate cu RV. RV poate fi folosită atât pentru simularea intervențiilor minim invazive în vederea antrenării chirurgilor, cât și pentru telemedicină, prin intermediul interfețelor om-calculator care permit controlarea roboților chirurgicali.

Una din primele utilizări ale RV în CMI abordează problema comunicării acțiunilor utilizatorilor și monitorizării acestora în medii virtuale. Billingham și alții [3] propun un sistem expert de interacțiune om-calculator cu intrare multimodală într-un mediu virtual, pentru a se comporta ca un asistent chirurgical. Metoda lor presupune trei părți: transformarea intrării prin voce și gesturi într-o formă semantică, deducerea contextului și a acțiunilor utilizatorului și monitorizarea progresului utilizatorului în vederea oferirii de feedback automat.

Kim [5] face referire la unele probleme ale simulării interacțiunii dintre instrumentele chirurgicale și țesutul uman în medii virtuale folosite pentru antrenarea în CMI. El propune două tipuri de modele virtuale ale țesutului moale pentru calcularea forțelor de interacțiune și deformarea vizuală în vederea oferirii de feedback în timp real. Metodele de modelare determină deformare vizuală și forțe corecte pentru a oferi feedback utilizatorului.

O problemă foarte importantă pentru RV în procedurile minim invazive este recrearea exactă a câmpului operator. Există o serie de elemente care trebuie luate în considerare pentru realizarea unui mediu virtual: recrearea realistă a imaginilor laparoscopice și simularea interacțiunii dintre instrumente și organe. Conform cu ElHelw și alții [6], lumina speculară oferă realism și indicii vizuale pentru evaluarea deformării țesuturilor, adancimii și orientării în CMI. Ei propun o tehnică de iluminare pentru modelarea țesutului mucos care conține și o componentă speculară.

Zhu și alții [24] prezintă un mediu de simulare fizică folosit pentru crearea de medii virtuale folosind tehnici bazate pe puncte. O serie de elemente importante într-o simulare, interacțiunea dintre organe, interacțiunea dintre țesuturi și instrumente chirurgicale, feedback-ul haptic, se bazează pe puncte fizice discrete. Țesutul moale biologic este simulat printr-o nouă abordare hidrodinamică bazată pe particule. Metoda lor adaugă realism mediilor virtuale de CMI. Totuși rămân o serie de probleme care nu sunt adresate în acest articol. Comportamentul arterelor și

simularea fluxului sanguin în diferite condiții, cauzate de acțiuni ale utilizatorului, cum ar fi tăierea unei artere, nu sunt luate în considerare în acest cadru de simulare.

Cu toate că unele elemente de bază care adaugă realism în CMI sunt analizate, există în continuare o mulțime de direcții de cercetare în domeniu. În unele cazuri structurile anatomice sunt formate din mai multe straturi cu diferite proprietăți de material [5], o posibilă direcție de cercetare fiind analiza comportamentului acestora în relație cu instrumentele chirurgicale. De asemenea, anumite interacțiuni precum tăierea unor artere sau organe trebuie abordate pentru realizarea unui mediu virtual realist.

În plus față de simulări, RV deschide un alt domeniu pentru interacțiunea om-calculator în CMI, prin telemedicină. Cel mai folosit telerobot în intervențiile chirurgicale minim invazive este sistemul da Vinci. Guthart și Kenneth [27] oferă o vedere de ansamblu asupra telerobotului chirurgical da Vinci. Acest sistem creează un mediu imersiv prin folosirea vizualizării stereo și a unei interfețe om-calculator. Prin intermediul interfeței, chirurgul coordonează mișcarea instrumentelor. Imersiunea sistemului vine din translația mișcării spațiale a instrumentelor în cadrul camerei de referință. În ultimii ani au fost propuse multe extensii la sistemul da Vinci și la chirurgia telerobotică în general. Acest articol menționează numai câteva dintre ele. O extensie este oferită de Kuchenbecker și alții [28]. Sistemul VerroTouch redă parțial simțul tactil în CMI prin măsurarea vibrațiilor cauzate de contactul dintre instrumentele chirurgicale robotice. Aceste vibrații sunt reproduse pe mânerul robotului da Vinci pentru a oferi feedback haptic chirurgilor. Schneider și alții [29] prezintă un nou sistem cu ultrasunete integrat într-un telerobot da Vinci folosit pentru vizualizarea laparoscopică. Extensia lor vine cu un ecograf laparoscopic prototip, un monitor integrat precum și o serie de unelte de navigație, care ușurează interacțiunea utilizatorului cu telerobotul da Vinci. Simaan și alții [15] descriu un sistem telerobotic pentru CMI la nivelul gâtului care include master-ul da Vinci, 2 brațe robotice chirurgicale hibride, un sistem de video stereoscopic și un monitor integrat. Brațele robotice implementează redundanță cinematică și îmbunătățesc dexteritatea chirurgilor, oferind control mai bun asupra instrumentelor în câmpuri operatorii adânci (ex: gâtul).

Studiile realizate de Vapenstad și Buzink [30] și Basdogan și alții [31] oferă mai multe informații despre utilitatea RV în sistemele de interacțiune om-calculator în CMI.

Tabelul de mai jos prezintă o comparație a unora din metodele de RV prezentate.

Tabelul 1. Comparație metode RV

Met	Feed-back haptic	Modelare deformare țesuturi	Interacțiune cu instrumente	Modelare flux sanguin	Timp de răspuns
[3]	Nu	Ne-precisă	Ne-precisă	Nu	Limitat
[5]	Da	Da	Da	Nu	Timp real
[24]	Da	Da	Da	Nu	Timp real
[27]	Da	Țesut adevărat	Instrumente adevărate	Flux adevărat	Timp real

## REALITATEA AUGMENTATĂ ÎN CMI

O practică uzuală în procedurile minim invazive este achiziția pre-operatorie de imagini CT sau RMN și suprapunerea lor pe imaginile intra-operatorii constând din secvențe video endoscopice/laparoscopice. Această suprapunere permite augmentarea imaginilor din timpul unei operații cu alte date folositoare, obținute pre-operator. Acțiunile chirurgilor, schimbarea poziției instrumentelor operatorii, pot determina transformările și modul de afișare a imaginilor pre-operatorii.

Vosburgh și alții [10] menționează limitările NOTES, comparativ cu laparoscopia, flexibilitatea endoscopului care complică percepția orientării distale, poziția retrogradă a locațiilor chirurgicale țintă relativ la incizia în peretele stomacului. Acestea pot conduce la tăierea accidentală a unor artere. Ei propun o abordare care rezolvă într-o oarecare măsură limitările discutate, prin tehnici de RA, folosind imagini medicale pre-operatorii și suprapunerea acestora prin localizarea în timp real a poziției endoscopului. Autorii evaluează utilitatea tehnicilor de transformare a seturilor de imagini 3D în spațiul de coordonate al pacientului în timpul intervenției chirurgicale, în cazul particular al puncției de acces gastric. Anterior suprapunerii imaginilor pre-operatorii, acestea sunt segmentate manual, structurile de interes pentru operații fiind reprezentate prin modele 3D virtuale.

Wu și alții [11] fac referire la problema deducerii formei oaselor din imaginile endoscopice ortopedice. Ei propun o tehnică de vizualizare obținută prin asocierea imaginilor endoscopice și a suprafețelor 3D obținute din seturi de date CT pre-operatorii. Problema mapării între imaginile CT și endoscopice în timpul operației este rezolvată prin reconstrucția explicită a formelor oaselor din capturi video endoscopice. Metoda depășește limitările procedurilor endoscopice ortopedice, și anume, suprafața osoasă lipsită de trăsături proeminente și câmpul vizual limitat.

Peters și alții [16] propun un mediu de vizualizare folosit în CMI pe cord, care este augmentat printr-un model cardiac dinamic 3D reconstruit din date CT sau RMN. Utilizatorul poate controla nivelul de transparență al părților componente ale modelului 3D. Asocierea imaginilor pre-operatorii este asigurată prin folosirea unor repere ușor identificabile, fantele valvelor mitrale și aortice. Imaginile intra-operatorii folosite în această metodă nu sunt capturi video laparoscopice, ci sunt obținute printr-un traductor ecocardiograf transesofagian care este inserat în esofag. Pentru o corespondență exactă, fantele obținute pre-operator trebuie segmentate manual, printr-un instrument interactiv bazat pe curbe spline.

Fernandez-Esparrach și alții [20] prezintă un studiu care analizează utilitatea unui sistem de navigare bazat pe utilizarea imaginilor CT pentru identificarea accesului sigur gastrointestinal în NOTES. Sistemul de navigare oferă ghidare în timp real prin imagini sintetizate determinate de poziția endoscopului. Monitorul de augmentare oferă două vederi în plus față de capturile video endoscopice clasice: un model anatomic 3D obținut dintr-un set de date CT și o vedere virtuală endoscopică. Sistemul reduce rănirea structurilor adiacente în NOTES.

Problemele mapării seturilor de imagini pre-operatorii cu capturile video intra-operatorii reprezintă un punct de plecare pentru direcții viitoare de cercetare. Modificarea poziției pacientului, mișcările cauzate de respirație, umflarea stomacului pentru lărgirea spațiului operator, reprezintă provocări pentru RA. Au fost analizate soluții eventuale, ca maparea imaginilor pre-operatorii în timp real folosind structurile vasculare obținute de la un ecograf 3D [10]. Totuși, până în prezent nu s-a realizat nici o metodă care mapează perfect imaginile medicale pre-operatorii cu acelea obținute în timpul operației. Una dintre direcțiile noastre de cercetare are drept obiectiv creșterea preciziei suprapunerii între imaginile pre- și intra-operatorii prin realizarea unor instrumente intuitive de interacțiune om-calculator. Scopul acestora este indicarea de către utilizator a unor repere corespondente pe cele două tipuri de imagini.

Tabelul 2 prezintă o comparație a metodelor prezentate de asociere a modelelor pre- și intra-operatorii.

Tabelul 2. Comparație metode AR

Met.	Tip de transformare	Elemente de referință	Limitări
[10]	Rigidă, din CT în imagini ecografice și apoi endoscopice	Caracteristici identificate pe CT și ecografie	Nu ține cont de mișcările pacientului, respirație și mișcare persitalică
[11]	Rigidă, din CT în imagini endoscopice	“shape-from-shading”	Nu poate funcționa decât pt. intervenții ortopedice
[16]	Non-rigidă, din CT în imagini obt. printr-un traductor ecocardiograf	Fantele valvelor mitrale/aortice segmentate	Ține cont de respirație, dar nu și de alte mișcări
[20]	Rigidă, din CT în imagini endoscopice	Senzori electro-magnetici	Nu ține cont de respirație, umflarea abdomenului

## METODE DE ÎMBUNĂȚĂȚIRE A CONTROLULUI MEDICILOR ÎN CMI ASISTATĂ DE CALCULATOR

Controlul chirurgilor în CMI este de multe ori limitat de calitatea scăzută a vizibilității, de lipsa feedback-ului tactil și de sistemele automate neintuitive de interacțiune. O parte din sistemele asistive se ocupă cu recuperarea controlului prezent în intervențiile chirurgicale deschise.

### Îmbunătățirea vizibilității în CMI

Prelucrarea imaginilor a fost folosită intens pentru îmbunătățirea imaginilor laparoscopice, pentru a oferi un câmp vizual mai bun asupra scenei operatorii și pentru o înțelegere mai bună a structurii și morfologiei țesuturilor.

Lerotic și Yang [8] investighează folosirea mișcărilor fixaționale pentru CMI asistată robotic în vederea obținerii unei rezoluții percepute a câmpului vizual care este mai mare decât rezoluția reală a camerei laparoscopului. Super rezoluția, realizată prin proiecția pe seturi convexe, poate adăuga un zoom artificial în procedurile minim invazive, reprezentând un ajutor vizual pentru chirurghi.

Un dezavantaj al CMI este câmpul vizual limitat al scenei operatorii. O soluție posibilă, propusă de Seshamani și alții [9], este mozaicul video. Această abordare îmbunătățește vizibilitatea structurilor interne ale corpului și mărește câmpul vizual operator prin combinarea mai multor imagini obținute de la camera endoscopică. Metoda lor, testată pe imagini microscopice ale reținei, are potențial pentru orice tip de CMI. Behrens și alții [23]

propun de asemenea un algoritm de mozaic al imaginilor pentru endoscopia fluorescentă. Algoritmii lor constă dintr-o serie de pași care sunt descriși sumar. Caracteristici proeminente din imagini sunt extrase pentru a stabili corespondențe între două imagini succesive. Apoi se stabilesc transformările planare între o pereche de imagini. Imaginile sunt proiectate pe un plan de referință și combinate. Procedura lor oferă un câmp vizual extins asupra scenei operatorii. Imagini similare cu cele obținute prin algoritmul de mozaic pot fi generate folosind un endoscop cu unghi mare sau anexe speciale precum lentilele ochi-de-pește sau oglinzile convexe [17]. Totuși, aceste imagini au rezoluția și luminozitatea mai scăzută comparativ cu cele obținute de un endoscop clasic.

Cu toate că lumina speculară poate oferi indicii vizuale pentru evaluarea deformării țesuturilor și a adâncimii în CMI, aceasta poate deveni și o sursă semnificativă de erori. Arnold și alții [22] prezintă două metode care pun problema luminilor speculare în laparoscopie. Prima metodă segmentează secțiunile luminate specular cu o filtrare neliniară și un prag bazat pe culori, în timp ce a doua elimină efectul negativ al luminii speculare, oferind un rezultat vizual pozitiv. Ca direcție viitoare de cercetare, autorii articolului discută despre posibilitatea realizării unui studiu clinic cu privire la preferințele doctorilor relativ la imaginile endoscopice standard comparativ cu imaginile unde efectul luminii speculare a fost eliminat.

Alte aplicații care oferă control chirurgical mai bun în CMI se bazează pe reconstrucția 3D a țesuturilor. Stoyanov și alții [19] propun un algoritm de reconstrucție stereo bazat pe propagarea informațiilor de disparitate în jurul unui set de caracteristici pereche candidat. Collins și Bartoli [25] propun un sistem pentru vizualizarea suprafețelor 3D obținute din capturi video laparoscopice monoculare. Metoda "shape-from-shading" este extinsă către o reconstrucție sigură, dar fără a putea manipula imaginii laparoscopice arbitrare.

#### **Detecția instrumentelor în CMI**

Problema detecției instrumentelor în CMI a fost abordată în ultimele decenii. Unele avantaje ale localizării instrumentelor este manevrarea automată a laparoscopului și evaluarea acțiunilor riscante.

Unul dintre primii algoritmi de localizare a instrumentelor, cel propus de Uecker și alții [2], este notabil. În primul pas al metodei, pixelii din imaginile laparoscopice sunt clasificați în funcție de culoare. Apoi, pixelii de instrument sunt grupați și etichetați. Un pas de analiză a formei calculează informații folositoare, precum centroidul și orientarea unei porțiuni din instrument, în vederea estimării unei regiuni încadratoare. În final, mișcarea regiunii încadratoare pentru fiecare instrument este estimată pentru a prezice locația acestuia.

Climent și Mares [4] prezintă o metodă de urmărire care nu depinde de prezența marker-ilor artificiali sau de colorarea specială a instrumentelor. Algoritmii se bazează pe filtrarea Gaussiană, metoda gradientului și transformata Hough. Sistemul poate urmări instrumente definite prin muchii drepte, care se află în câmpul vizual, cu un contrast bun între instrumente și fundal și fără mișcări bruște.

Voros și alții [12] propun o metodă pentru detecția instrumentelor chirurgicale în CMI, folosind informații despre poziția 3D a punctului de inserție a instrumentelor. Această informație, furnizată de chirug anterior operației, limitează spațiul de căutare pentru instrumente în imaginile endoscopice. Pozițiile ale punctelor de inserție ale instrumentelor sunt măsurate la începutul intervenției chirurgicale. Apoi, pe baza unuor modele simplificate ale instrumentelor și pozițiile estimate, spațiul de căutare în imagini reale este redus considerabil. Metoda este robustă, automată, dar nu oferă timp de procesare interactivi.

Lahane și alții [26] descriu un sistem care analizează imaginile laparoscopice și indică posibilitatea lezării arterei cistice. Metoda folosește tehnici de prelucrare de imagini și de învățare automată pentru clasificarea imaginilor. Aceasta avertizează chirurgia la detectarea proximității instrumentelor de artera cistică. Detecția instrumentelor chirurgicale se realizează prin filtrare Gaussiană, convertire în spațiul de culoare HSV și aplicarea de praguri pe canale individuale în spațiul HSV. Acest sistem poate crește nivelul de conștientizare în CMI.

Urmărirea instrumentelor chirurgicale poate fi utilă nu numai pentru ghidarea laparoscopului/endoscopului sau detecția acțiunilor riscante în CMI, ci și ca o unelată de interacțiune om-calculator. Salajegheh [35] propune o metodă de segmentare a imaginilor endoscopice prin folosirea instrumentelor chirurgicale similar cu un mouse 3D pentru selectarea unor puncte germen de-a lungul frontierei unui organ. Un switch wireless atașat instrumentului chirurgical poate fi acționat pentru activarea acestei interacțiuni. De asemenea, Salajegheh descrie trei metode interactive de afișare a imaginilor pre-operatorii pe un monitor. În prima metodă, chirurgicalul poate comuta la modul augmentat prin realizarea unui gest particular cu instrumentele chirurgicale. În următoarele două metode, datele medicale ale unui pacient sunt afișate într-un cerc în jurul câmpului vizual al camerei endoscopice. În cea de-a doua metodă vizualizarea este activată atunci când utilizatorul aduce vârful instrumentului chirurgical în secțiunea corespondentă a meniului. A treia metodă se comportă similar cu cea anterioară, dar activarea necesită de asemenea apăsarea unui switch wireless aflat pe instrumentul chirurgical.

#### **Detecția structurilor anatomice în CMI**

Lezarea accidentală a vaselor de sânge în CMI poate conduce la complicații care necesită trecerea la intervenție chirurgicală deschisă pentru stabilizarea fluxului sanguin. Din acest motiv, detecția arterelor reprezintă un element foarte important pentru sistemele de asistare automată în acest tip de chirurgie. Akbari și alții [14] evaluează o nouă metodă de detecție a arterelor în procedurile minim invazive. Tehnica propusă de prelucrare a imaginilor folosește pulsul arterial pentru a detecta arterele și a le diferența de vene. Arterele care nu sunt prea adânci și pot mișca țesut superficial sunt detectate corect.

Alte tehnici de prelucrare a imaginilor se focalizează pe segmentarea diferitelor obiecte în secvențele video laparoscopice. Shu și alții [7] prezintă o metodă care segmentează imaginile laparoscopice. Se aplică un algoritm bazat pe grafuri pentru a produce o segmentare

inițială și apoi se unesc regiunile pe baza unor proprietăți ca asemănarea culorilor, dimensiunea și lungimea muchiei comune. Segmentarea este destinată discectomiei toracice, îndepărtarea unui disc inter-vertebral de la coloana pacienților care suferă de scolioză. Aceasta face parte dintr-un proiect mai mare, unde discul este segmentat și apoi reconstruit 3D pentru estimarea distanței relative dintre instrument și măduva spinării. Rezultatele experimentale demonstrează coerența spațială și precizia segmentării. Totuși, metoda lor este particularizată numai pentru discectomia toracică, și segmentează țesutul cavitărilor (discul) de alte țesuturi. O direcție posibilă de cercetare ar putea fi realizarea unui algoritm care urmărește obiecte specifice în secvențele video laparoscopice/endoscopice.

Mountney și Yang [13] propun o metodă de urmărire a caracteristicilor pentru detecția țesutului moale în CMI. Algoritmul nu face nici o presupunere legată de tipul transformărilor imaginilor și caracteristicile vizuale ale capturilor video, ci se actualizează continuu. Metoda lor se pretează pentru țesuturi care se deformează și transformări de imagine necunoscute.

Visentini-Scarzanella și alții [18] prezintă o tehnică inovativă pentru urmărirea structurilor neregulate cu un grad arbitrar de conectivitate în spațiu. Metoda asigură maximizarea corelării între punctele urmărite și noile lor poziții calculate și minimizarea variației de formă a structurii. Metoda se aplică pe capturi video stereo, unde utilizatorul realizează o adnotare a unei structuri arbitrare pe un cadru video dintr-un canal stereo. Adnotarea este apoi urmărită de-a lungul celorlalte capturi video.

#### Interacțiunea om-calculator bazată pe gesturi în CMI

Din punctul de vedere al interacțiunii om-calculator în CMI, chirurgii au identificat o serie de limitări ale sistemelor asistive. Acestea sunt lipsa unei arhitecturi centrate pe utilizator, dificultatea operării echipamentelor în timpul intervenției chirurgicale și imposibilitatea de a transmite informații fără a constrânge acțiunile chirurgului [32]. De asemenea, s-a ajuns la concluzia că interacțiunea om-calculator duce la rezultate mai bune dacă se renunță la asistentul care transmite informațiile chirurgului către calculator. O serie de tehnici de prelucrare a imaginilor vin în întâmpinarea acestor probleme prin înlocuirea interacțiunii tradiționale cu cea bazată pe gesturi.

Nishikawa și alții [34] propun un sistem de interacțiune prin care chirurgul comunică și controlează camera robotică laparoscopică. Această comunicare se bazează pe urmărirea mișcării faciale a chirurgului.

Grange și alții [32] descriu ideea unei arhitecturi pentru un sistem multimodal care oferă interfețe om-calculator adaptive fără necesitatea contactului, bazate pe gesturi. Cele două modalități principale se referă la interacțiunea chirurgului cu interfața grafică utilizator precum și la monitorizarea activității chirurgului pentru oferirea de informații contextuale dar și pentru adaptarea automată a echipamentului conform cu progresul intervenției.

#### DISCUȚII ȘI CONCLUZII

Acest articol prezintă un studiu care analizează cele mai importante aplicații de RV/RA și prelucrarea imaginilor folosite în CMI asistată de calculator. *RV* poate fi foarte

folositoare în dezvoltarea mediilor virtuale de CMI pentru antrenarea chirurgilor. Totuși, interacțiunea fizică dintre diferite organe, dintre organe și instrumente chirurgicale nu poate fi simulată cu precizie maximă. Unele din cele mai importante direcții de cercetare în acest domeniu sunt simularea fluxului sanguin în scenarii critice și facilitarea transmiterii informațiilor către sistemele virtuale precum și oferirea de feedback utilizatorilor. Suprapunerea modelelor virtuale construite din imagini pre-operatorii pe imaginile intra-operatorii reprezintă o altă metodă care amplifică înțelegerea vizuală prin intermediul *RA*. Nu există nici o metodă perfectă de potrivire a imaginilor CT sau RMN statice, pre-operatorii, pe capturile video laparoscopice. Modificarea poziției pacientului, mișcările produse de bătăile inimii și respirație, umflarea abdomenului și modificarea poziției organelor produsă de interacțiunea cu instrumentele chirurgicale reprezintă o parte din cauzele complexității ridicate a mapării imaginilor. Soluții posibile, precum folosirea structurii vasculare, trebuie testate în continuare. *Prelucrarea imaginilor* este folositoare pentru îmbunătățirea vizibilității în procedurile minim invazive. Generarea vederilor panoramice mărește câmpul vizual al scenei operatorii. De asemenea, reconstrucția 3D din imagini laparoscopice stereo sau bazată pe informații de culoare și specularitate determină o mai bună interpretare a structurilor anatomice. Totuși, există elemente care pot fi îmbunătățite în vederea obținerii unui sentiment vizual similar cu acela al operațiilor deschise. Urmărirea instrumentelor, a organelor și a gesturilor chirurgilor pot adăuga de asemenea control mai bun al scenei operatorii și pot preveni lezări accidentale ale structurilor anatomice.

În concluzie se poate deduce faptul că progresul în sistemele de asistare în CMI, precum și cel prognozat, depinde intens de folosirea tehnicilor de *RA/RV* și a prelucrării imaginilor.

#### MULȚUMIRI

O parte din cercetarea prezentată în acest articol a fost finanțată de Programul Sectorial Operațional de Dezvoltare a Resurselor Umane 2007-2013 al Ministerului Muncii, Familiei și Protecției Sociale prin Acodrul Financiar POSDRU/89/1.5/62557.

#### REFERINȚE

1. F. Tendik, R. Jennings, G. Tharp, L. Stark, "Sensing and Manipulation Problems in Endoscopic Surgery: Experiment, Analysis and Observation", *Presence*, vol. 2(1), pp. 66-81, 1993.
2. DR. Uecker, C. Lee, YF. Wang, Y. Wang, "Automated Instrument Tracking in Robotically Assisted Laparoscopic Surgery", *Journal of Image Guided Surgery*, vol. 1(6), pp. 308-325, 1995.
3. M. Billingham, J. Savage, P. Openheimer, C. Edmond, "The Expert Surgical Assistant: An Intelligent Virtual Environment with Multimodal Input", *Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality IV*, 590-607, 1995.
4. J. Climent, P. Mares, "Automatic Instrument Localization in Laparoscopic Surgery", *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, vol. 4(1), pp. 21-31, 2004.
5. J. Kim, "Virtual Environments for Medical Training: Graphic and Haptic Simulation of Tool-Tissue Interactions", PhD Thesis, MIT, 2004.

6. A. ElHelw, S. Atkins, M. Nicolaou, A. Chung, GZ. Yang, "Photo-Realistic Tissue Reflectance Modelling for Minimally Invasive Surgical Simulation", MICCAI'05 Proceedings of the 8th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 868-875, 2005.
7. Y. Shu, GA. Bilodeau, F. Cheriet, "Segmentation of Laparoscopic Images: Integrating Graph-Based Segmentation and Multistage Region Merging", CRV'05 Proceedings of the 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision, pp. 429-436, 2005.
8. M. Lerotic, GZ. Yang, "The Use of Super Resolution in Robotic Assisted Minimally Invasive Surgery", MICCAI'06 Proceedings of the 9th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 462-469, 2006.
9. S. Seshamani, W. Lau, G. Hager, "Real-Time Endoscopic Mosaicking", MICCAI'06 Proceedings of the 9th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 355-363, 2006.
10. KG. Vosburgh, R. San Jose Estepar, "Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES): an Opportunity for Augmented Reality Guidance", Journal on Studies in Health Technology and Informatics, vol. 125, pp. 485-490, 2007.
11. C. Wu, S. G. Narasimhan, B. Jaramaz, "Shape-from-Shading under Near Point Lighting and Partial Views for Orthopedic Endoscopy", Workshop on Photometric Analysis for Computer Vision, 2007.
12. S. Voros, JA. Long, P. Cinquin, "Automatic Detection of Instruments in Laparoscopic Images: A First Step Towards High-level Command of Robotic Endoscopic Holders", International Journ. of Robotics Research, vol. 26(11-12), pp. 1173-1190, 2007.
13. P. Mountney, GZ. Yang, "Soft Tissue Tracking for Minimally Invasive Surgery: Learning Local Deformation Online", Proceedings of the 11th Intern. Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 364-372, 2008.
14. H. Akbari, Y. Kosugi, K. Kihara, "A Novel Method for Artery Detection in Laparoscopic Surgery", J. on Surgical Endoscopy, vol. 22(7), pp. 1672-1677, 2008.
15. N. Simaan, K. Xu, A. Kapoor, W. Wei, P. Kazanzides, P. Flint, R. Taylor, "Design and Integration of a Telerobotic System for Minimally Invasive Surgery of the Throat", International Journal of Rob. Research, vol. 28(9), pp. 1134-1153, 2010.
16. T. M. Peters, C. A., Linte, J. Moore, D. Bainbridge, D. L. Jones, G. M. Guiraudon, "Towards a Medical Virtual Reality Environment for Minimally Invasive Cardial Surgery", MIAR'08 Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Workshop on Medical Imaging and Augmented Reality, pp. 1-11, 2008.
17. T. Iqarashi, H. Suzuki, Y. Naya, "Computer-based Endoscopic Image-Processing Technology for Endourology and Laparoscopic Surgery", International J. of Urology, vol. 6, pp. 533-543, 2009.
18. M. Visentini-Scarzanella, R. Merrifield, D. Stoyanov, GZ. Yang, "Tracking of Irregular Graphical Structures for Tissue Deformation Recovery in Minimally Invasive Surgery", MICCAI'10 Proceedings of the 13th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 261-268, 2010.
19. D. Stoyanov, M. Visentini-Scarzanella, P. Pratt, GZ. Yang, "Real-time Stereo Reconstruction in Robotically Assisted Minimally Invasive Surgery", MICCAI'10 Proceedings of the 13th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 275-282, 2010.
20. G. Fernandez-Esparrach, R. San Jose Estepar, C. Guarner-Argente, G. Martinez-Palli, R. Navarro, C. Rodriguez de Miguel, H. Cordova, C. C. Thompson, A. M. Lacy, L. Donoso, J. R. Ayuso-Colella, A. Gines, M. Pellise, J. Llach, K. G. Vosburgh, "The Role of Computed Tomography-based Image Registered Navigation System for Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery: A Comparative Study in a Porcine Model", Journal on Endoscopy, vol. 42(12), pp. 1096-1103, 2010.
21. SL. Lee, M. Lerotic, V. Vitiello, S. Giannarou, KW. Kwok, M. Visentini-Scarzanella, GZ. Yang, "From Medical Images to Minimally Invasive Intervention: Computer Assistance for Robotic Surgery", Journal on Computerized Medical Imaging and Graphics, vol. 34(1), pp. 33-45, 2010.
22. M. Arnold, A. Ghosh, S. Ameling, G. Lacey, "Automatic Segmentation and inpainting of Specular Highlights for Endoscopic Imaging", Journal on Image and Video Processing - Special Issue on Emerging Methods for Color Image and Video Quality Enhancement, vol 2010, art. no. 9, 2010.
23. A. Behrens, M. Bommers, T. Stehle, S. Gross, S. Leonhardt, T. Aach, "A Multi-threaded Mosaicking Algorithm for Fast Image Composition of Fluorescence Bladder Images", Medical Imaging 2010: Visualization, Image-Guided Procedures and Modeling, vol 7625, pp. 76252S-10, 2010.
24. Zhu, L. Gu, X. Peng, Z. Zhou, "A Point-Based Simulation Framework for Minimally Invasive Surgery", ISBMS'10 Proceedings of the 15th International Conference on Biomedical Simulation, pp. 130-138, 2010.
25. T. Collins, A. Bartoli, "Towards Live Monocular 3D Laparoscopy Using Shading and Specularity Information", Lecture Notes in Computer Science, vol. 7330, pp. 11-21, 2012.
26. A. Lahane, Y. Yesha, MA. Grasso, A. Joshi, AE.Park, J. Lo, "Detection of Unsafe Action from Laparoscopic Cholecystectomy Video", IHI'12 Proceedings of the 2nd ACM SIGHIT International Health Informatics Symposium, pp. 315-322, 2012.
27. G. S. Guthart, J. K. Salisbury, "The Intuitive TM Telesurgery System: Overview and Application", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automations, pp. 618-621, 2000.
28. K. J. Kuchenbecker, J. Gewirtz, W. McMahan, D. Standish, P. Martin, J. Bohren, P. J. Mendoza, D. I. Lee, "VerroTouch: High-Frequency Acceleration Feedback for Telerobotic Surgery", EuroHaptics'10 Proceedings of the 2010 International Conference on Haptics: Generating and Perceiving Tangible Sensations, pp. 189-196, 2010.
29. C. M. Schneider, G. W. Dachs, C. J. Hasser, M. A. Choti, S. P. DiMaio, R. H. Taylor, "Robot-Assisted Laparoscopic Ultrasound", Proceedings of the First International Conference on Information Processing in Computer-Assisted Interventions, pp. 67-80, 2010.
30. C. Vapenstad, SN Buznik, "Procedural virtual reality simulation in minimally invasive surgery", Journal of Surgical Endoscopy, vol. 27(2), pp. 364-377, 2013.
31. C. Basdogan, M. Sedef, M. Harders, S. Wesarg, "VR-Bases Simulators for Training in Minimally Invasive Surgery", IEEE Journal on Computer Graphics and Applications, vol. 27(2), pp. 54-66, 2007.
32. S. Grange, T. Fong, C. Baur: "M/ORIS: a medical/operating room interaction system", ICM'I'04 Proceedings of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces", pp. 159-166, 2004.
33. K. Shinohara: "Consideration of the Human-Computer Interface in the Operation Room in the Era of Computer Aided Surgery", Communications in Computer and Information Science, vol. 174, pp. 72-75, 2011.
34. A. Nishikawa, T. Hosoi, K. Koara, D. Negoro, A. Hikita, S. Asano, H. Kakutani, F. Miyazaki, M. Sekimoto, M. Yasui, Y. Miyake, S. Takiguchi, M. Monden, "FAce MOUSE: A novel human-machine interface for controlling the position of a laparoscope", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 19(5), pp. 825-841, 2003.
35. M. Salajegheh, "Imaging of surgical tools as a new paradigm for surgeon computer-interface in minimally invasive surgery", PhD Thesis, Simon Fraser University, 2008.