

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2014 00678

(22) Data de depozit: 05.09.2014

(41) Data publicării cererii:
30.06.2015 BOPI nr. 6/2015

(71) Solicitant:
• MEDINSYS S.R.L., CALEA UNIRII NR.32,
CRAIOVA, DJ, RO

(72) Inventatori:
• GRUIONU LUCIAN GHEORGHE,
STR. ION MAIORESCU, BL.4, SC.A, AP.22,
CRAIOVA, DJ, RO;
• POPA RADU TEODORU, STR. ÎNFRĂȚIRII
NR. 16, CRAIOVA, DJ, RO;

• CIOBIRCA COSTIN CĂTĂLIN,
STR. NICOLAE IORGA NR. 44, ISALNIȚA,
DJ, RO;
• GRUIONU GABRIEL,
STR. C. S.NICOLAESCU PLOPȘOR, BL.K,
SC.1, AP.10, CRAIOVA, DJ, RO;
• SĂFTOIU ADRIAN, STR. MĂCINULUI
NR. 1, CRAIOVA, DJ, RO

(54) **SISTEM ȘI METODĂ PENTRU NAVIGAȚIE ÎN
BRONHOSCOPIE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem și la o metodă de navigare, cu urmărire electromagnetică, destinate asistării procedurilor medicale de bronhoscopie. Sistemul conform invenției este constituit dintr-un echipament electromagnetic de determinare a poziției în spațiu, alcătuit dintr-un generator (4) de câmp magnetic de mică intensitate, ce se poziționează în apropierea pacientului în timpul investigației, astfel încât zona anatomică de interes să fie cuprinsă în volumul câmpului magnetic, dintr-o unitate (5) de control ce interpretează semnalele electrice primite de la niște senzori, și le transformă în coordonate și unghiuri de rotație, dintr-un instrument (1) pentru navigație, de formă tubulară, flexibil, de lungime egală și diametru mai mic decât cel al canalului de lucru al unui bronhoscop (6), având fixat, la capătul proximal din apropierea unor pense (2) de biopsie, un senzor electromagnetic de poziție ale cărui fire electrice, conectate la un cablu și un conector, trec printr-un tub și ies prin capătul distal al instrumentului (1), unde tubul este prevăzut cu un mâner pentru manipulare, instrumentul (1) putând fi introdus pe canalul de lucru al bronhoscopului (6), dintr-un marker (3) activ, adeziv, destinat a fi lipit de pielea pacientului în apropierea zonei de investigat, și dintr-un computer (7) pe care rulează un cod executabil dedicat, și care este prevăzut cu două ecrane principale. Metoda de navigare, conform invenției, este implementată prin intermediul unui program de calculator ce construiește

un model tridimensional al arborelui bronșic al pacientului, calculează în timp real poziția capului instrumentului în interiorul pacientului, și construiește o imagine de bronhoscopie virtuală corespunzătoare poziției capului instrumentului, și o secțiune virtuală printr-un volum scanat prin tomografie computerizată, folosind o metodă bazată pe metoda curbelor geodezice.

Revendicări: 2
Figuri: 10

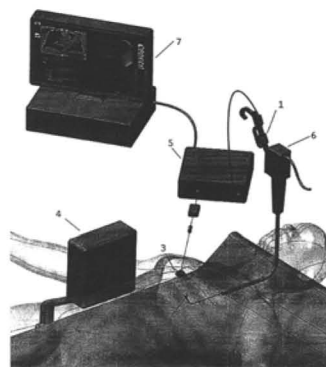
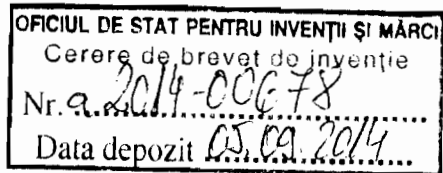


Fig. 2





SISTEM ȘI METODĂ PENTRU NAVIGAȚIE ÎN BRONHOSCOPIE

Invenția se referă la un sistem de navigare cu urmărire electromagnetică, destinat asistării procedurilor medicale de bronhoscopie.

În prezent, pentru diagnosticarea cancerului pulmonar, medicii pregătesc procedura de biopsie prin examinarea unui număr mare de secțiuni tomografice, realizate înaintea procedurii. După aceea, manipulează un video-bronhoscop prin căile bronșice atât cât permite diametrul bronhoscopului. În final, introduce o pensă de biopsie prin canalul bronhoscopului, și apoi o extind înafara acestuia prin căile bronșice până la leziunile/tumorile periferice și execută biopsia fără niciun control vizual. În consecință, între 43% și 95% dintre proceduri eșuează în a ajunge la țintele periferice, în funcție de mărimea și locația acestora. Când aceste eșecuri intervin, medicii sunt nevoiți să repete procedura sub control radiologic, cu un grad de iradiere crescut pentru pacient și medic, ori să folosească metode mai invazive care cresc posibilitatea complicațiilor, precum biopsia percutanată.

Se cunosc o serie de echipamente de ghidare prin localizare electromagnetică a poziției unei sonde endoscopice în timpul unei proceduri neinvazive. Acestea folosesc, de regulă un generator de câmp magnetic, mai mulți senzori de poziție, dintre care cel puțin unul plasat pe dispozitivul medical sau chirurgical, iar ceilalți pe corpul pacientului, prin intermediul unor markeri adezivi, precum și niște procesoare capabile să prelucreze datele achiziționate de la senzori și să le transpună în imagini, pe care le suprapun peste imaginile scanate anterior. În ceea ce privește corelarea spațiului câmpului magnetic generat cu un spațiu tridimensional al pacientului, pentru a oferi utilizatorului imaginea poziției relative al unuia față de celălalt, este nevoie de o aplicație dedicată, capabilă să transpună datele din imaginile scanate anterior în imagini tridimensionale, prin care să fie urmărită dinamica poziției relative a instrumentului de lucru (endoscop, cateter, bronhoscop) în timp real.

Astfel, documentul **WO2010049834 A1**, publicat la 6 mai 2010, dezvăluie o metodă și un sistem de urmărire electromagnetică într-o procedură medicală, asistată de computer. Printre altele, în document se revendică și un cod executabil capabil să comande executarea următoarelor operațiuni: obținerea poziției unor markeri, pe baza curenților induși în senzorii fixați pe markeri, primul marker fixat în anatomia-țintă, un al doilea marker în afara acesteia și un al treilea marker în apropierea anatomiei-țintă; obținerea imaginii anatomiei-țintă, care include vizualizarea celui de-al doilea marker și o regiune transpusă în imagini, asociată cu primul marker, precum și înregistrarea unui spațiu electromagnetic al anatomiei-țintă cu spațiul transpus în imagini al anatomiei-țintă, pe baza a cel puțin uneia dintre pozițiile primului, al celui de-al doilea și al celui de-al treilea marker și pe vizualizarea regiunii transpuse în imagini și a celui de al doilea și al treilea marker, urmată de urmărirea electromagnetică a unui dispozitiv chirurgical, folosind spațiile înregistrate electromagnetic și transpuse în imagini ale anatomiei-țintă. De asemenea, una dintre operațiuni presupune comanda afișării poziției dispozitivului chirurgical suprapus imaginii anatomiei-țintă, imaginile fiind obținute prin, cel puțin, tomografie computerizată, rezonanță magnetică sau ultrasunete.

Documentul **US8218846 B2**, publicat în 10 iulie 2012 dezvăluie un sistem și o metodă de navigare prin căile respiratorii ale unui pacient care poate construi, selecta și prezenta modelul tridimensional al rețelei căilor și a unui traseu către o țintă prin acestea. Sistemul conține și o parte de navigare utilizând modelul și o serie de puncte preselectate, utilizatorul vizual pe camera bronhoscopului trecerea de aceste puncte.

Un alt document, **US8218847 B2**, publicat în 10 iulie 2012 dezvăluie o metodă corelare între poziția instantanee a unui senzor în interiorul unei rețele de tuburi și o serie de imagini ale rețelei scanate anterior. Corelarea inițială se face cu ajutorul unui endoscop care vizualizează un anumit marker anatomic împreună cu imaginea senzorului. Sistemul trasează o linie virtuală de la senzor la marker și se calculează punctul de incidență cu markerul care este considerat punct de corelare. Algoritmul de

corelare continuă prin mutarea senzorului în altă poziție și căutarea prin secțiunile scanate anterior o secțiune care se potrivește cu imaginea obținută de endoscop în noua locație.

Documentul **US 2009/0209817 A1**, publicat la data de 20 august 2009 prezintă o metodă de afișare a informației care îmbunătățește navigarea printr-o rețea de canale în corp, precum căile respiratorii. Astfel utilizatorul selectează o serie de puncte de trecere printr-un arbore bronșic virtual care sunt prezentate pe ecran și înlocuite cu următorul pe măsură ce utilizatorul trece cu bronhoscopul cu un senzor de poziție de fiecare dintre acestea. Utilizatorul urmărește trecerea prin toate punctele selectate în traseul către tumoră, imaginea de bronhoscopie virtuală prezentând numai aceste puncte intermediare.

Problema tehnică constă în orientarea în timp real cu instrumentul de biopsie prin arborele bronșic, fără ghidarea dată de imaginea video oferită de bronhoscop care nu poate pătrunde în ramuri bronșice de diametru mic.

Invenția rezolvă problemele tehnice prin determinarea poziției instantanee a instrumentului în raport cu pacientul și crearea în timp real a unei imagini de bronhoscopie virtuală corespunzătoare poziției capului instrumentului, care să înlocuiască imaginea video a bronhoscopului și să fie folosită de către medic la navigare. Invenția propune un sistem de navigare cu urmărire electromagnetică care se poate integra la orice bronhoscop existent, constituit dintr-un echipament electromagnetic de determinare a poziției în spațiu, alcătuit dintr-un generator de câmp magnetic de mică intensitate, care se poziționează în apropierea pacientului în timpul procedurii investigative, astfel încât zona anatomică de interes, care va fi investigată, să fie cuprinsă în volumul câmpului magnetic; un instrument/pensă pentru biopsie, la capătul distal al instrumentului fiind introdus și fixat un senzor electromagnetic de poziție, cu șase grade de libertate; un marker activ care urmează să fie lipit pe pielea pacientului, în apropiere de zona de investigat; o unitate de control, care interpretează semnalele electrice primite de la senzori și le transformă în coordonate și unghiuri de rotație; precum și un computer personal, pe care rulează un produs-program original care construiește un model tridimensional al arborelui bronșic al pacientului, care calculează în timp real poziția capului instrumentului în interiorul pacientului, și construiește o imagine de bronhoscopie virtuală corespunzătoare poziției capului instrumentului și o secțiune virtuală prin volumul CT, folosind o metoda originala bazata pe metoda curbelor geodezice in comparatie cu metoda liniei mediane care este folosita de alte inventii (ref).

Avantajele aplicării invenției constau în:

- posibilitatea ghidării pentru biopsie în zonele periferice ale plămânului,
- reducerea timpului de realizare a procedurii de bronhoscopie medicală;
- creșterea gradului de succes și a calității procedurilor de bronhoscopie;
- integrarea sistemului cu echipamentul existent (de exemplu bronhoscop);
- implementarea mai rapidă a algoritmului de navigație bazat pe curbe geodezice în comparație cu alte metode mai complexe (de exemplu metoda liniei mediane).

Se dă în continuare un exemplu de realizare al invenției, în legătură și cu figurile 1-12, care reprezintă:

- fig.1 - schema de principiu a unui sistem de navigare pentru bronhoscopie, conform invenției;
- fig.2 – arborele bronșic cu punctele de selecție și markerii anatomici;
- fig.3 – ecranul **EI** al aplicației software;
- fig.4 – ecranul **EII** al aplicației software;

Sistemul de navigare, conform invenției, este constituit din următoarele elemente:

- un echipament electromagnetic de determinare a poziției în spațiu, alcătuit dintr-un generator 4 de câmp magnetic de mică intensitate (v. fig. 1), care se poziționează în apropierea pacientului în timpul procedurii investigative, astfel încât zona anatomică de interes, care va fi investigată, să fie cuprinsă în volumul câmpului magnetic; o unitate 5 de control, care interpretează semnalele electrice primite de la niște senzori și le transformă în coordonate și unghiuri de rotație (vector de poziție și

orientare), relativ la generatorul 4 de câmp magnetic;

- un instrument/pensă (v. fig. 1) pentru navigatie către tumoră și biopsie, de formă tubulară, flexibil, de lungime egală și diametru mai mic decât cel al canalului de lucru al bronhoscopului 6. La capătul proximal al instrumentului 1, în apropierea penselor de biopsie 2 este introdus și fixat un senzor electromagnetic de poziție ale cărui fire electrice conectate la un cablu și un conector specific trec printr-un tub și ies prin capătul distal al instrumentului 1 (v. fig. 1), unde tubul este prevăzut cu un mâner pentru manipulare. Instrumentul 1 se introduce pe canalul de lucru al endoscopului 6;

- un marker activ 3 adeziv care urmează să fie lipit pe pielea pacientului (v. fig. 1) înaintea procedurii de bronhoscopie, în apropiere de zona de investigat.

- un computer 7 pe care rulează un cod executabil dedicat, cu două ecrane principale (v. fig. 3 și 4), având arhitectura generală prezentată în Fig. 6, și care este dezvoltat să comande executarea următoarelor operații:

i. citească niște secțiuni imagistice seriate ale unui volum scanat prin tomografie computerizată sau rezonanță magnetică, în format standard DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*);

ii. să recunoască căile respiratorii și plămâni pe fiecare secțiune, prin variația tonurilor de gri și, utilizând contururi succesive și construind suprafețele prin acestea, să realizeze un model digital tridimensional al anatomiei scanate denumit în continuare MA-3D;

iii. să construiască modelul virtual tridimensional al arborelui bronșic 8 (v. fig. 2) al pacientului denumit în continuare AB-3D, prin metoda marching cubes utilizând accelerarea hardware prin metoda histogramei piramidelor, cu implementare folosind librăriile OpenGL și Open CL și capacitățile computaționale ale GPU (graphics processing unit), precum și linia mediană a căilor respiratorii prin metoda skeletonizării. Algoritmul este aplicat fără folosirea unor etape intermediare de extragere a arborelui, ci direct, pe datele inițiale DICOM și permite selectarea în timp real a isosuprafeței cautate.

iv. să permită identificarea pe secțiunile CT și pe modelul virtual AB-3D poziția tumorii, poziția a 3 markeri anatomici 10a,b,c (v. fig. 2) și poziția markerului activ 3 (v. fig. 1) ;

v. să propună un traseu al instrumentului de biopsie către tumoră 11 (v. fig. 2) după calea geodezică minimă pe exteriorul peretelui bronsic, folosind algoritmi de căutare (v. Fig. 7 și 8) în grafuri de tip Dijkstra, A Star sau Fast Marching, și să permită modificarea lui de către utilizator;

vi. să achiziționeze date de poziție, furnizate de senzorii încorporați în instrumentul de biopsie 1 și markerului activ 3 în câmpul magnetic generat;

vii. să creeze o cameră video virtuală în capul instrumentului de biopsie care să prezinte o imagine (denumită în continuare IV) prin AB-3D asemănătoare celei furnizate de camera video a bronhoscopului prin corpul pacientului, în funcție de poziția instantanee a capului instrumentului 1 în timpul procedurii. Modelul 3D generat anterior este folosit ca data de intrare pentru generarea imaginii virtuale bronhoscopice conform algoritmului (v fig. 8), prin aplicarea tehnicii High Dynamic Range pentru vizualizarea ultrarealistă.

viii. să segmenteze și să compare automat imaginea IV prin AB-3D cu cea a camerei bronhoscopului la selecția markerilor anatomici 10 și să modifice poziția camerei virtuale prin translații și rotații astfel încât să obțină o diferență minimă între cele două imagini (v. fig. 5);

ix. alinieze MA-3D și AB-3D cu pacientul utilizând cei 4 markerii virtuali de pe CT și cei 4 markeri reali de pe pacient, problema orientării absolute între sistemele de coordonate ale celor două volume fiind rezolvată printr-un algoritm folosind quaternioni pentru calculul transformării;

x. să calculeze și să afișeze în timp real poziția capului instrumentului 1 în interiorul MA-3D și AB-3D, conform datelor de poziție furnizate de senzorul acestuia;

xi. să realizeze o secțiune virtuală (denumită în continuare SV) prin modelul MA-3D, poziționată prin axa senzorului din capătul instrumentului și de orientare variabilă, stabilită de utilizator;

xii. să calculeze și să afișeze diverse date, precum distanța până la tumoare, eroarea de calibrare,

alte erori de sistem, pierderea legăturii senzorilor cu sistemul, prin ieșirea din volumului câmpului magnetic generat, alte mesaje.

xiii. să permită operații manuale de reorientare folosind 6 controale pentru 3 translații x, y, z și 3 rotații, pe care utilizatorul să le poată realiza în cazul în care observă o diferență între imaginea IV și cea furnizată de camera bronhoscopului, din cauza respirației pacientului sau modificării geometriei anatomiei interne.

xiv. la navigarea pe căi respiratorii înguste să înregistreze continuu poziția senzorului din capul instrumentului, să compare aceste poziții cu traseul stabilit înaintea proceduri și să facă automat ajustări ale corelării dintre modelele virtuale și pacient prin translații și/sau rotiri ale acestora și prin verificarea coliziunii cu suprafața interioară a modelului AR-3D, folosind suprafața extrasă prin marching cubes, în combinație cu linia mediană extrasă prin skeletonizare, prin algoritmul prezentat în continuare.

xv. Reprezentarea virtuală a instrumentului medical ar trebui să rămână permanent în interiorul căilor respiratorii. Totuși, datorită erorilor inerente ale sistemului de urmărire și localizare, pot exista momente când instrumentul este reprezentat în bronhoscopia virtuală în afara suprafeței căilor respiratorii. Pentru a evita această reprezentare greșită, care ar putea să inducă în eroare utilizatorul, se va folosi conform invenției, un algoritm de detecție și rezolvare a coliziunilor care va păstra permanent reprezentarea instrumentului medical în interiorul căilor respiratorii. Se presupune că inițial, înainte de începerea detecției coliziunilor, instrumentul este reprezentat în interiorul suprafeței căilor respiratorii. Poziția instrumentului va fi furnizată la momente discrete de timp. De asemenea, reprezentarea suprafeței căilor respiratorii este formată din triunghiuri mici. Pașii de detecție și rezolvare a coliziunilor sunt următorii (v. fig. 9):

- fiind date două poziții P_t, P_{t+1} la două momente succesive de timp $t, (t + 1)$, se evaluează intersecția segmentului $P_t P_{t+1}$ cu triunghiurile de pe suprafață. Pentru a evita calcule prea lungi, se vor grupa triunghiurile într-o structură de date care va permite luarea în calcul doar a triunghiurilor din "vecinătatea" segmentului. Dacă nicio intersecție nu a fost detectată, atunci poziția P_{t+1} a rămas în interiorul suprafeței.

- dacă segmentul $P_t P_{t+1}$ intersectează un triunghi (notat Tr în fig. 9 iar P_{Tr} este punctul de intersecție), atunci P_{t+1} este adus de aceeași parte a triunghiului Tr ca și P_t de-a lungul unei căi "minime" ($P_{t+1} \rightarrow P'_{t+1}$). O dreaptă perpendiculară pe planul Tr este trasată din poziția P_{t+1} . Intersecția cu Tr este notată prin P'_{Tr} și, dacă intervalul de timp în care sunt furnizate două poziții succesive este suficient de mic, ar trebui să fie în interiorul triunghiului Tr . Dacă nu, atunci sunt necesare corecții suplimentare (v. fig. 10). O paralelă la planul Tr este trasată din punctul P_t , în planul $(P_t P_{t+1} P'_{Tr})$. Intersecția celor două drepte "trasate" anterior reprezintă poziția corectată P'_{t+1} a instrumentului medical.

În cazul în care proiecția poziției P_{t+1} pe planul Tr este de fapt în afara triunghiului Tr (compară Fig. 9, A și Fig. 9 B), atunci dreapta formată de punctele P_{Tr} and P'_{Tr} este intersectată cu perimetrul triunghiului (v. fig. 10 B), intersecția este notată P''_{Tr} . Intersecția dreptelor $(P_t P_{t+1})$ și $(P_{t+1} P'_{Tr})$ reprezintă, în acest caz, poziția corectată P''_{t+1} a instrumentului medical.

Operațiunile de la vii la xv presupun alinierea volumelor CT și pacientului, pentru determinarea poziției instrumentului 1 în raport cu modelele digitale MA-3D și AB-3D. Pentru aliniere se vor folosi 4 markeri: markerul activ 3 de pe pieptul pacientului, precum și alți 3 markeri anatomici 10a,b,c aflați la primele 3 intersecții ale ramurilor bronșice (v. fig. 2). Toți cei 4 markeri vor fi identificați pe volumul CT prin selecție cu mouse-ul pe planele de tomografie sau pe AB-3D. Pe pacient, markerul activ 3 va fi plasat de preferință pe osul xifoid iar markerii anatomici 10 vor fi identificați în faza de calibrare a procedurii, prin atingere cu capul bronhoscopului/instrumentul de biopsie.

La atingerea fiecărui marker anatomic cu bronhoscopul, sistemul va segmenta și compara imaginea video a bronhoscopului cu imaginea camerei virtuale în AB-3D. Sistemul va calcula și efectua operații fine de translație sau rotație a camerei video virtuale (v. fig. 5), resegmentând și comparând, până când cele două imagini sunt similare, și va înregistra această nouă poziție ca fiind poziția corectă

de atingere a markerului anatomic respectiv. Se vor elimina astfel erorile date de atingerea incorectă de către utilizator în căile respiratorii ale pacientului, a markerului anatomic stabilit anterior pe CT/AB-3D. Sistemul va face alinierea celor două volume prin suprapunerea celor două seturi de câte 4 puncte, problema orientării absolute între sistemele de coordonate ale celor două volume fiind rezolvată printr-un algoritm folosind quaternioni pentru calculul transformării similar metodei Horn (<http://dx.doi.org/10.1364/JOSAA.4.000629>).

Utilizarea sistemului, conform invenției, presupune din partea utilizatorului parcurgerea următoarelor etape:

- realizarea unei investigații imagistice a pacientului, printr-una din metodele tradiționale, precum tomografie computerizată sau rezonanță magnetică. Se va obține o stivă de secțiuni seriate. Pacientul este mutat în camera pentru bronhoscopie.

- conectarea markerului 3 la unitatea de control 5 a echipamentului electromagnetic de determinare a poziției;

- introducerea instrumentului 1 în canalul de lucru al bronhoscopului 6. Se conectează instrumentul 1 la unitatea de control 5 a echipamentului electromagnetic de determinare a poziției;

- plasarea markerului activ 3 pe pieptul pacientului, într-o poziție ușor identificabilă pe tomografie, spre exemplu osul xifoid;

- conectarea generatorului de câmp magnetic 4 la unitatea de control 5 și plasarea generatorului în apropierea pacientului. Unitatea 5 se conectează la computerul 7.

- lansarea aplicației informatice care afișează inițial pe monitor ecranul EI (v. fig. 3) și încărcarea stivei de secțiuni seriate realizate în etapa precedentă.

- segmentarea automată a imaginilor și crearea unui model digital tridimensional (volum digital) al pacientului denumit în continuare MA-3D, prin intermediul programului din cadrul sistemului de navigație precum și un model digital tridimensional al arborelui bronșic al pacientului denumit în continuare AB-3D și a liniei mediane a acestuia. Implementarea funcțiilor de segmentare și reconstrucție tridimensională prin secțiuni imagistice se va face prin metoda marching cubes utilizând histograma piramidelor, cu implementare folosind librăriile OpenGL și Open CL și capacitățile computaționale ale GPU (graphics processing unit). Imaginile medicale sunt calibrate și aliniate într-un sistem de coordonate general, conform standardului *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*, prin care sunt livrate unui utilizator de către laboratorul de imagistică;

- identificarea de către utilizator pe planele de tomografie (ferestrele 1-3, fig. 3) sau pe AB-3D, a locației markerului activ 3 și a trei markeri anatomici 10a,b,c care pot fi atinși cu bronhoscopul în arborele bronșic al pacientului, de preferință primele 3 intersecții ale ramurilor bronșice (v. fig. 2), a tumorii 12 (v. fig. 2). Sistemul propune utilizatorului, un traseu 11 pe linia geodezică minimă pe care instrumentul de biopsie îl va urma spre tumoră (v fig. 2). Utilizatorul are posibilitatea de a valida sau modifica traseul.

Programul va reține acest traseu de navigație denumit în continuare TN și va face corecții ale traiectoriei instrumentului în cazul în care se observă abateri peste o anumită valoare de la această traiectorie. Se afișează pe ecranul I patru ferestre: ferestrele 1-3 care reprezintă planele clasice de tomografie și fereastra 4 care prezintă modelul virtual AB-3D.

- lansarea ecranului EII (v. fig. 4) cu cele 4 ferestre. Medicul intră cu bronhoscopul în arborele bronșic și atinge cu capul instrumentului markerii anatomici 10a,b,c în aceeași ordine ca și selecția lor pe modelele virtuale. Prin intermediul senzorului de poziție din instrument, sistemul are astfel poziția reală în pacient a markerilor anatomici virtuali. Deoarece există erori inevitabile la atingerea de către utilizator a markerilor anatomici aleși pe modelul virtual, sistemul conține un algoritm pentru diminuarea acestor erori. Astfel, la atingerea fiecărui marker anatomic cu bronhoscopul/instrumentul de biopsie, sistemul va crea pentru poziția respectivă din interiorul AB-3D, imaginea dată de o cameră video virtuală plasată în vârful instrumentului. Sistemul va segmenta și compara imaginea video reală a

bronhoscopului din acel moment cu imaginea acestei camere virtuale. Sistemul va calcula și efectua operații fine de translație sau rotație a camerei video virtuale (v. fig. 5) resegmentând și comparând, până când cele două imagini sunt similare, și va înregistra această nouă poziție ca fiind poziția corectă de atingere a markerului anatomic respectiv.

- alinierea volumelor CT și al pacientului prin suprapunerea poziției celor 4 markeri (3 și 10a,b,c) virtuali cu pozițiile corepondenților reali, problema orientării absolute între sistemele de coordonate ale celor două volume fiind rezolvată printr-un algoritm folosind quaternioni pentru calculul transformării similar metodei Horn. Se va realiza astfel o operație de mapare biunivocă între modelele digitale MA-3D și AB-3D și pacient, fiecărui punct al modelelor digitale corespunzându-i un singur punct în corpul pacientului. Odată calibrarea efectuată, sistemul este capabil să calculeze poziția capului bronhoscopului în interiorul volumelor digitale, prin transformare de coordonate folosind spre exemplu operații matematice cu quaternioni.

- sistemul afișează un ecran cu patru ferestre: fereastra 1 (v. fig. 4) reprezintă secțiunea virtuală SV, fereastra 2 afișează imaginea furnizată de camera video a bronhoscopului, fereastra 3 afișează modelul virtual MA-3D și fereastra 4 afișează modelul virtual AB-3D. În acest moment se poate începe procedura de bronhoscopie cu navigație.

În timpul bronhoscopiei, medicul urmărește pe ecranul EII, fereastra 3, poziția instantanee a capului instrumentului/bronhoscopului în pacient și verifică dacă traiectoria către țintă este cea corectă, precum și distanța față de aceasta. Totodată compară imaginile din ferestrele 2 și 3 și poate să realizeze operații manuale de reorientare prin acționarea unor funcții specifice ale softului și acționarea unui mouse 3D pentru efectuarea de translații sau rotații până când observă vizual similitudinea celor două imagini.

În momentul în care ramurile bronșice sunt prea mici ca diametru pentru a înainta cu bronhoscopul, medicul extinde instrumentul de biopsie și continuă navigația către tumoră utilizând pentru orientare numai ferestrele 3 și 4. În această etapă a navigației, sistemul va înregistra continuu pozițiile sensorului din capul instrumentului pe care le va compara cu traseul TN stabilit înaintea procedurii. Sistemul va face ajustări ale corelării dintre modelele virtuale și pacient prin translații și/sau rotații ale acestora, în cazul în care sesizează abateri mai mari decât diametrul căii bronșice în care instrumentul se găsește în acel moment sau coliziuni cu suprafața interioară a modelului AR-3D.

Pentru vizualizarea țesuturilor situate înafara peretelui căilor bronșice, medicul poate folosi imaginea din fereastra 1.

Ajuns la țintă medicul poate efectua în mod clasic cu pensa biopsia țesutului suspect.

REVENDICĂRI

1. Sistem de navigație pentru bronhoscopie constituit din următoarele elemente:

- un echipament electromagnetic de determinare a poziției în spațiu, alcătuit dintr-un generator (4) de câmp magnetic de mică intensitate, care se poziționează în apropierea pacientului în timpul procedurii investigative, astfel încât zona anatomică de interes, care va fi investigată, să fie cuprinsă în volumul câmpului magnetic,

- o unitate (5) de control, care interpretează semnalele electrice primite de la niște senzori și le transformă în coordonate și unghiuri de rotație;

- un marker (3) activ, care urmează să fie lipit pe pielea pacientului, în apropiere de zona de investigat;

- un instrument de biopsie (1) cu senzor de poziție pentru orientarea în arborele bronșic;

- un computer, pe care rulează un produs-program,

caracterizat prin aceea că permite navigarea în timp real a instrumentului (1) în interiorul arborelui

bronhoscopului din acel moment cu imaginea acestei camere virtuale. Sistemul va calcula și efectua operații fine de translație sau rotație a camerei video virtuale (v. fig. 5) resegmentând și comparând, până când cele două imagini sunt similare, și va înregistra această nouă poziție ca fiind poziția corectă de atingere a markerului anatomic respectiv.

- alinierea volumelor CT și al pacientului prin suprapunerea poziției celor 4 markeri (3 și 10a,b,c) virtuali cu pozițiile corepondenților reali, problema orientării absolute între sistemele de coordonate ale celor două volume fiind rezolvată printr-un algoritm folosind quaternioni pentru calculul transformării similare metodei Horn. Se va realiza astfel o operație de mapare biunivocă între modelele digitale MA-3D și AB-3D și pacient, fiecărui punct al modelelor digitale corespunzându-i un singur punct în corpul pacientului. Odată calibrarea efectuată, sistemul este capabil să calculeze poziția capului bronhoscopului în interiorul volumelor digitale, prin transformare de coordonate folosind spre exemplu operații matematice cu quaternioni.

- sistemul afișează un ecran cu patru ferestre: fereastra 1 (v. fig. 4) reprezintă secțiunea virtuală SV, fereastra 2 afișează imaginea furnizată de camera video a bronhoscopului, fereastra 3 afișează modelul virtual MA-3D și fereastra 4 afișează modelul virtual AB-3D. În acest moment se poate începe procedura de bronhoscopie cu navigație.

În timpul bronhoscopiei, medicul urmărește pe ecranul EII, fereastra 3, poziția instantanee a capului instrumentului/bronhoscopului în pacient și verifică dacă traiectoria către țintă este cea corectă, precum și distanța față de aceasta. Totodată compară imaginile din ferestrele 2 și 3 și poate să realizeze operații manuale de reorientare prin acționarea unor funcții specifice ale softului și acționarea unui mouse 3D pentru efectuarea de translații sau rotații până când observă vizual similitudinea celor două imagini.

În momentul în care ramurile bronșice sunt prea mici ca diametru pentru a intra cu bronhoscopul, medicul extinde instrumentul de biopsie și continuă navigația către tumoră utilizând pentru orientare numai ferestrele 3 și 4. În această etapă a navigației, sistemul va înregistra continuu pozițiile sensorului din capul instrumentului pe care le va compara cu traseul TN stabilit înaintea procedurii. Sistemul va face ajustări ale corelării dintre modelele virtuale și pacient prin translații și/sau rotații ale acestora, în cazul în care sesizează abateri mai mari decât diametrul căii bronșice în care instrumentul se găsește în acel moment sau coliziuni cu suprafața interioară a modelului AR-3D.

Pentru vizualizarea țesuturilor situate înafara peretelui căilor bronșice, medicul poate folosi imaginea din fereastra 1.

Ajuns la țintă medicul poate efectua în mod clasic cu pensa biopsia țesutului suspect.

REVENDICĂRI

1. Sistem de navigație pentru bronhoscopie constituit din următoarele elemente:

- un echipament electromagnetic de determinare a poziției în spațiu, alcătuit dintr-un generator (4) de câmp magnetic de mică intensitate, care se poziționează în apropierea pacientului în timpul procedurii investigative, astfel încât zona anatomică de interes, care va fi investigată, să fie cuprinsă în volumul câmpului magnetic,

- o unitate (5) de control, care interpretează semnalele electrice primite de la niște senzori și le transformă în coordonate și unghiuri de rotație;

- un marker (3) activ, care urmează să fie lipit pe pielea pacientului, în apropiere de zona de investigat;

- un instrument de biopsie (1) cu senzor de poziție pentru orientarea în arborele bronșic;

- un computer, pe care rulează un produs-program,

caracterizat prin aceea că permite navigarea în timp real a instrumentului (1) în interiorul arborelui

bronșic al pacientului utilizând un model de bronhoscopie virtuală și permite corecții automate și manuale ale acestei operații.

2. Produs-program de comandă (fig. 6), dedicat sistemului navigare în bronhoscopie, conform revendicării 1, dezvoltat să comande executarea următoarelor operațiuni:

i. citește niște secțiuni imagistice seriate ale unui volum scanat prin tomografie computerizată sau rezonanță magnetică, în format standard DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*);

ii. realizează un model digital tridimensional al anatomiei scanate și un model virtual tridimensional al arborelui bronșic, prin metoda marching cubes utilizând varianta hardware pe baza tehnicii histogramei piramidelor implementată folosind librăriile OpenGL și Open CL și capacitățile computaționale ale GPU (graphics processing unit). Algoritmul este aplicat fără folosirea unor etape intermediare de extragere a arborelui, ci direct, pe datele inițiale DICOM și permite selectarea în timp real a isosuprafeței cautate.

iv. permite localizarea prin selecție cu mouse-ul, pe secțiunile tomografice sau pe modelele virtuale a mai multor ținte (tumori), a 3 markeri anatomici și un marker activ,

v. propune un traseu al instrumentului de biopsie către tumoră 11 (v. fig. 2) după calea geodezică minimă (fig. 7) și permite modificarea lui de către utilizator;

vi. achiziționează date de poziție, furnizate de senzorii încorporați în instrumentul de biopsie și markerului activ;

vii. creează o cameră video virtuală în vârful instrumentului/pensei de biopsie care să prezinte în timp real o imagine de bronhoscopie virtuală prin modelul tridimensional virtual al arborelui bronșic, imagine asemănătoare celei furnizate de camera video reală a bronhoscopului prin corpul pacientului în acel moment. Modelul 3D generat anterior este folosit ca data de intrare pentru generarea imaginii virtuale bronhoscopice prin aplicarea tehnicii High Dynamic Range pentru vizualizarea ultrarealistă.

viii. segmentează și compară imaginea video virtuală cu cea a reală a camerei bronhoscopului și modifică poziția camerei virtuale prin translații și rotații succesive astfel încât să obțină o diferență minimă între cele două imagini;

caracterizat prin aceea că

ix. aliniează modelele virtuale tridimensionale cu pacientul cu ajutorul celor două seturi de câte 4 markeri, cei virtuali aleși pe modelele tridimensionale și cei reali identificație pe pacient, problema orientării absolute între sistemele de coordonate ale celor două volume fiind rezolvată printr-un algoritm folosind quaternioni pentru calculul transformării;

x. calculează și prezintă pe modelele virtuale, în timpul procedurii, poziția capului instrumentului aflat în pacient, conform datelor de poziție furnizate de senzorul acestuia;

xi. realizează o secțiune virtuală prin modelul virtual al anatomiei pacientului, poziționată prin axa senzorului din capătul instrumentului și de orientare variabilă, stabilită de utilizator;

xii. permită operații manuale de reorientare pe care utilizatorul să le poată realiza cu ajutorul unui mouse 3D, în cazul în care observă o diferență între imaginea bronhoscopiei virtuale și imaginea dată de camera reală a bronhoscopului.

xiii. la navigarea prin căi respiratorii înguste în care bronhoscopul nu poate pătrunde, înregistrează continuu poziția senzorului din capul instrumentului și o compară cu traseul stabilit înaintea procedurii și face ajustări ale corelării dintre modelele virtuale și pacient prin translații și/sau rotații ale acestora, în cazul în care sesizează abateri față de traseu sau coliziuni cu suprafața internă a modelului virtual al arborelui bronșic.

xiv. se va folosi conform invenției, un algoritm de detecție și rezolvare a coliziunilor care va păstra permanent reprezentarea instrumentului medical în interiorul căilor respiratorii. Se presupune că inițial, înainte de începerea detecției coliziunilor, instrumentul este reprezentat în interiorul suprafeței căilor respiratorii. Poziția instrumentului va fi furnizată la momente discrete de timp. De asemenea,

reprezentarea suprafeței căilor respiratorii este formată din triunghiuri mici. Pașii de detecție și rezolvare a coliziunilor sunt următorii (v. fig. 9):

- fiind date două poziții P_t , P_{t+1} la două momente succesive de timp t , $(t + 1)$, se evaluează intersecția segmentului $P_t P_{t+1}$ cu triunghiurile de pe suprafață. Pentru a evita calcule prea lungi, se vor grupa triunghiurile într-o structură de date care va permite luarea în calcul doar a triunghiurilor din "vecinătatea" segmentului. Dacă nicio intersecție nu a fost detectată, atunci poziția P_{t+1} a rămas în interiorul suprafeței.

- dacă segmentul $P_t P_{t+1}$ intersectează un triunghi (notat Tr în fig. 9 iar P_{Tr} este punctul de intersecție), atunci P_{t+1} este adus de aceeași parte a triunghiului Tr ca și P_t de-a lungul unei căi "minime" ($P_{t+1} \rightarrow P'_{t+1}$). O dreaptă perpendiculară pe planul Tr este trasată din poziția P_{t+1} . Intersecția cu Tr este notată prin P'_{Tr} și, dacă intervalul de timp în care sunt furnizate două poziții succesive este suficient de mic, ar trebui să fie în interiorul triunghiului Tr . Dacă nu, atunci sunt necesare corecții suplimentare (v. fig. 10). O paralelă la planul Tr este trasată din punctul P_t , în planul $(P_t P_{t+1} P'_{Tr})$. Intersecția celor două drepte "trasate" anterior reprezintă poziția corectată P'_{t+1} a instrumentului medical.

În cazul în care proiecția poziției P_{t+1} pe planul Tr este de fapt în afara triunghiului Tr (compară Fig. 9, A și Fig. 9 B), atunci dreapta formată de punctele P_{Tr} and P'_{Tr} este intersectată cu perimetrul triunghiului (v. fig. 10 B), intersecția este notată P''_{Tr} . Intersecția dreptelor $(P_t P_{t+1})$ și $(P_{t+1} P''_{Tr})$ reprezintă, în acest caz, poziția corectată P''_{t+1} a instrumentului medical.

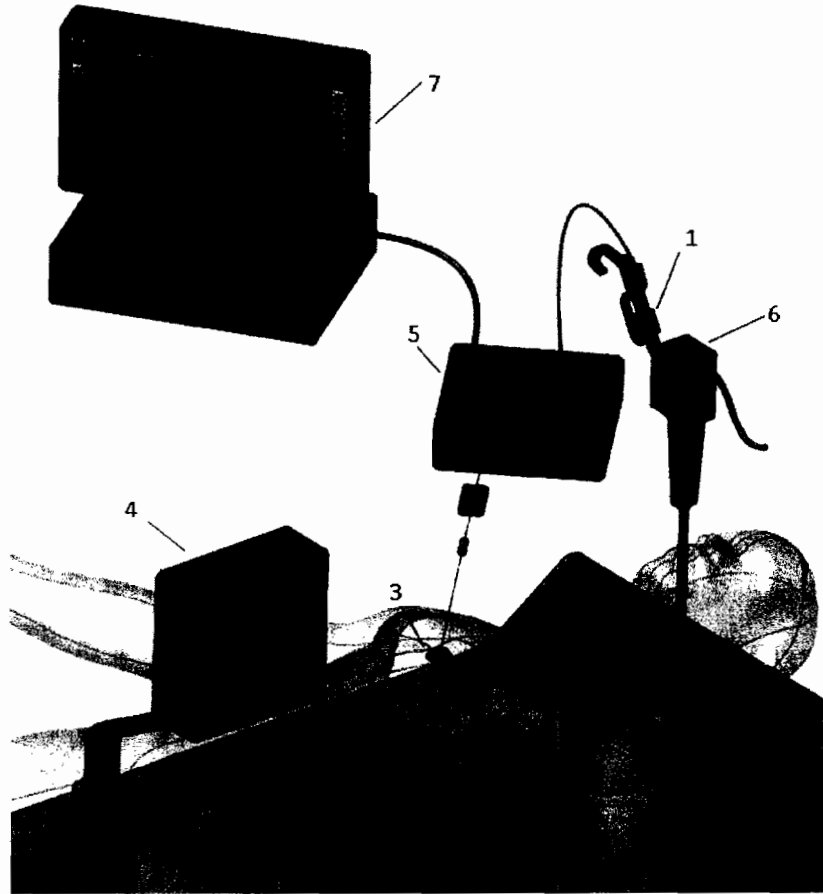


Figura 1

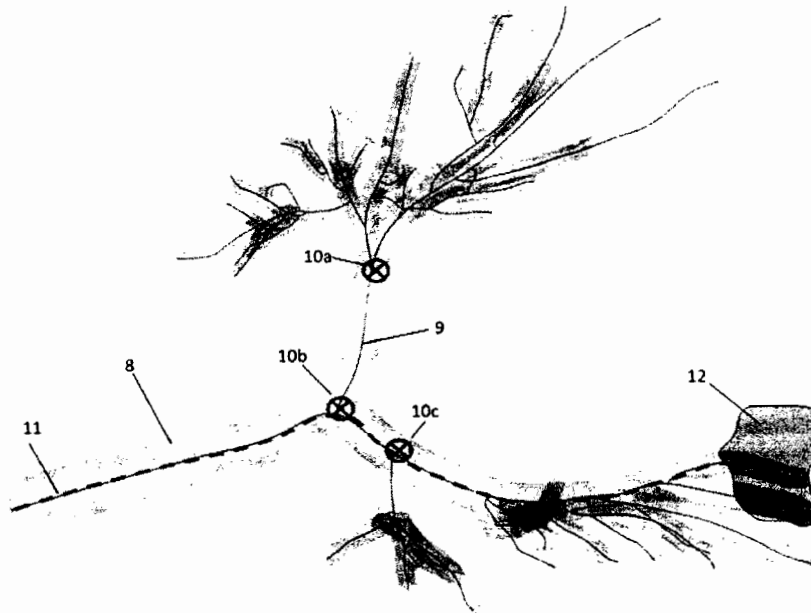


Figura 2

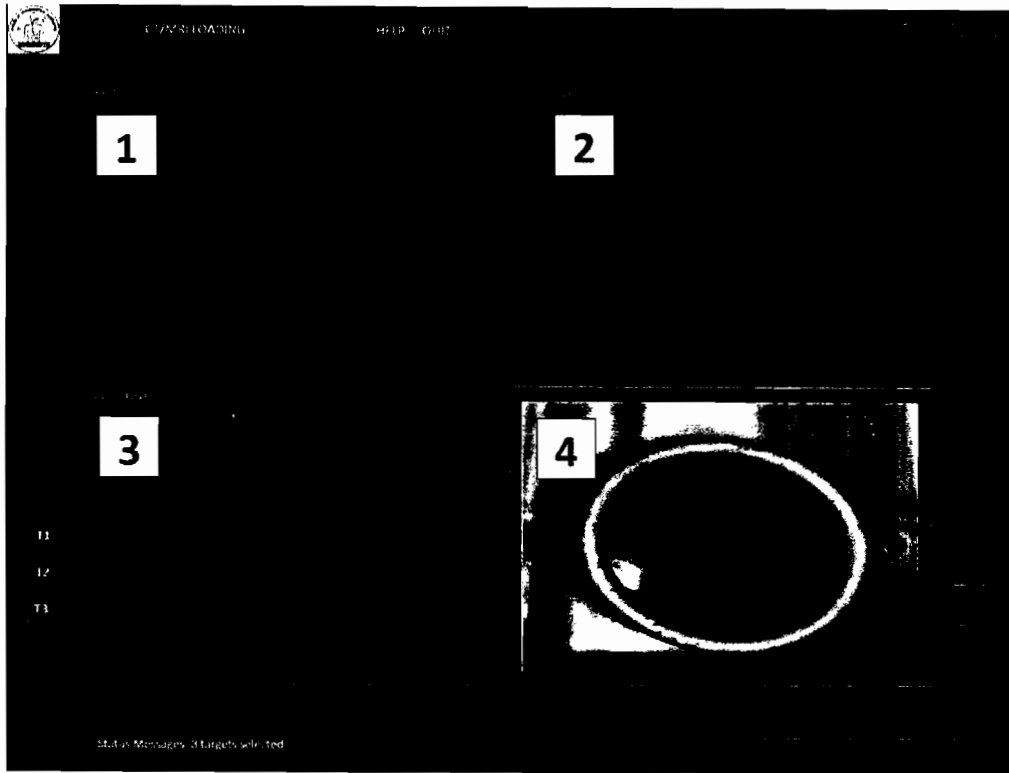


Figura 3

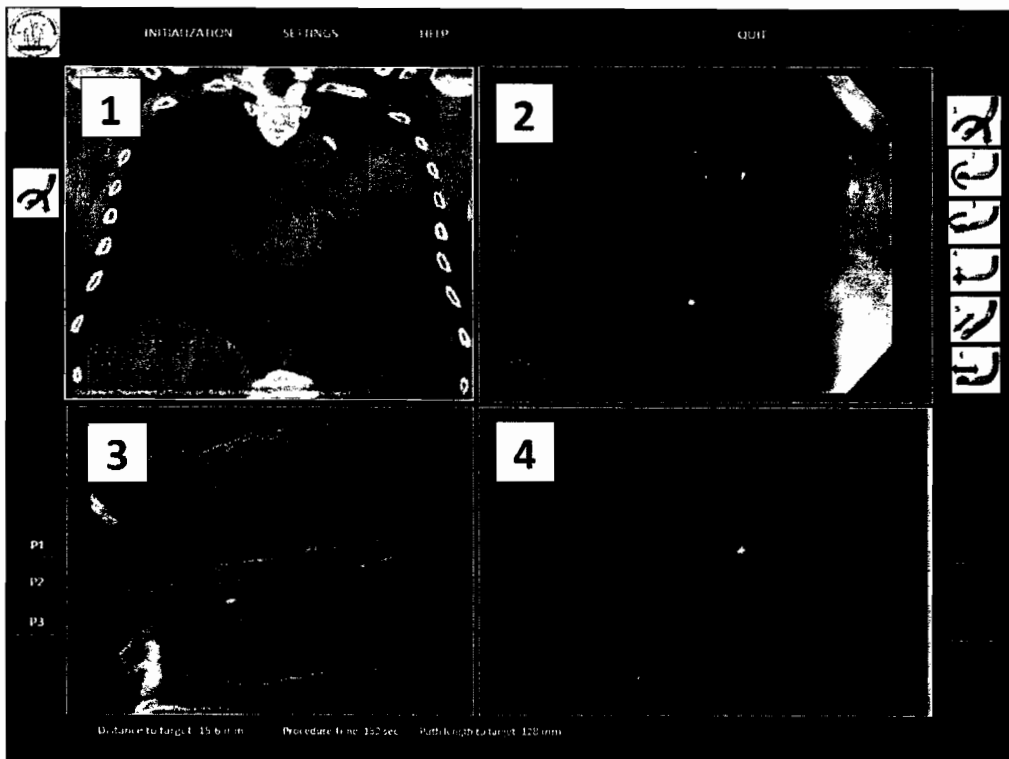


Figura 4

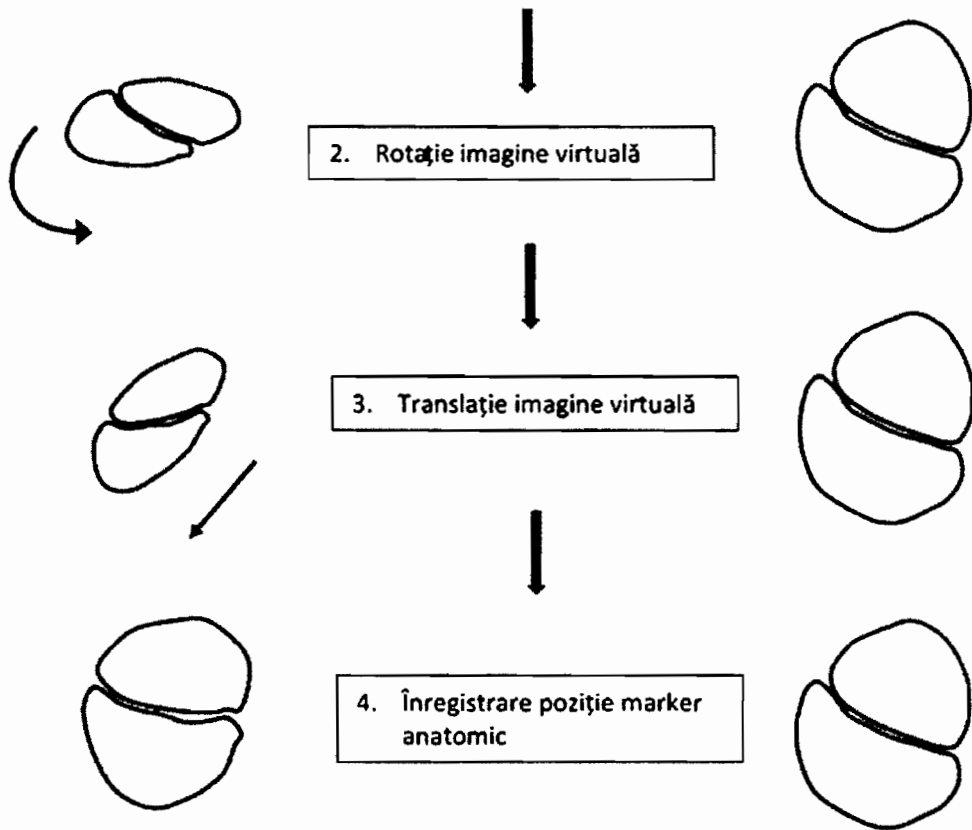
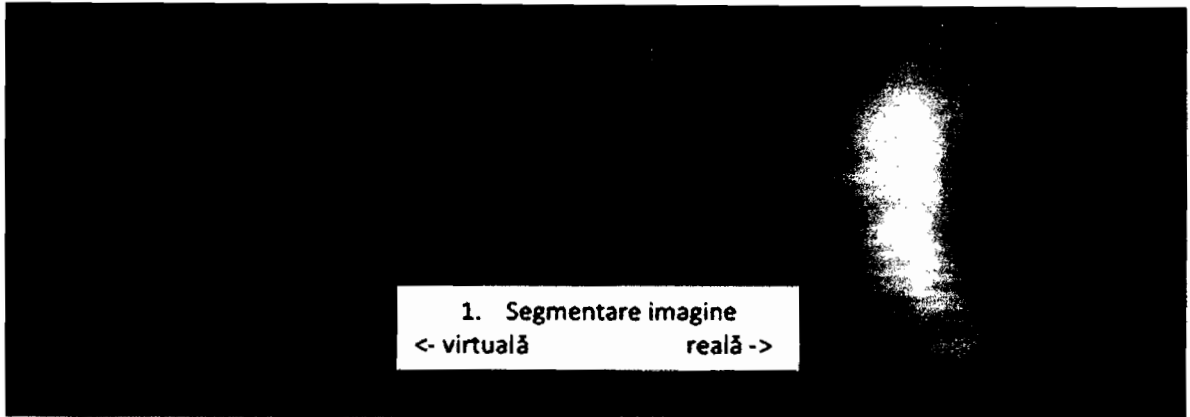


Figura 5

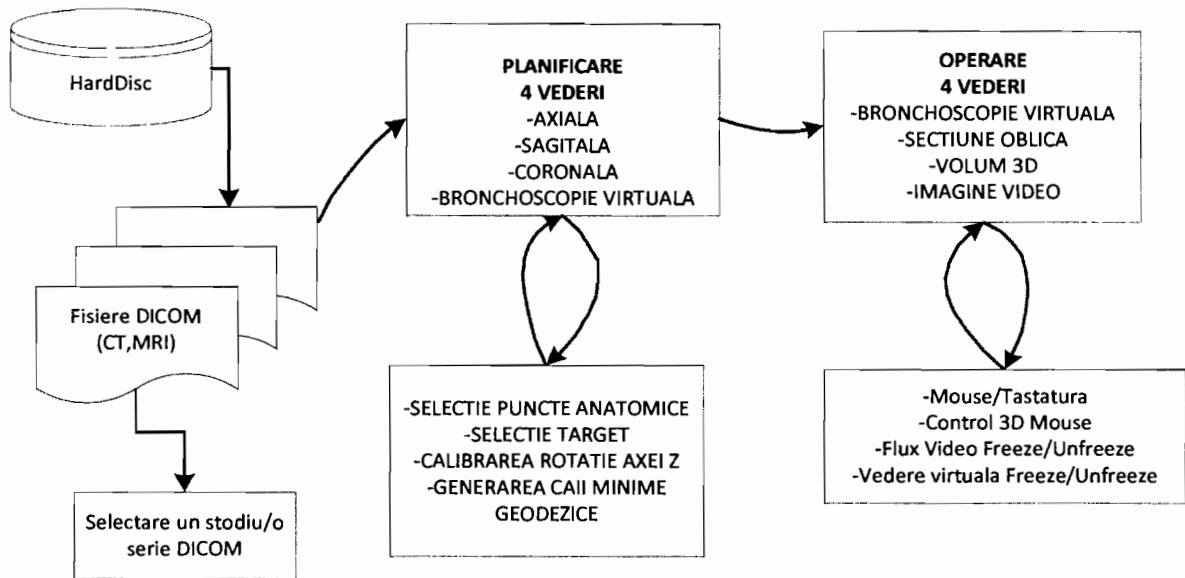


Figura 6.

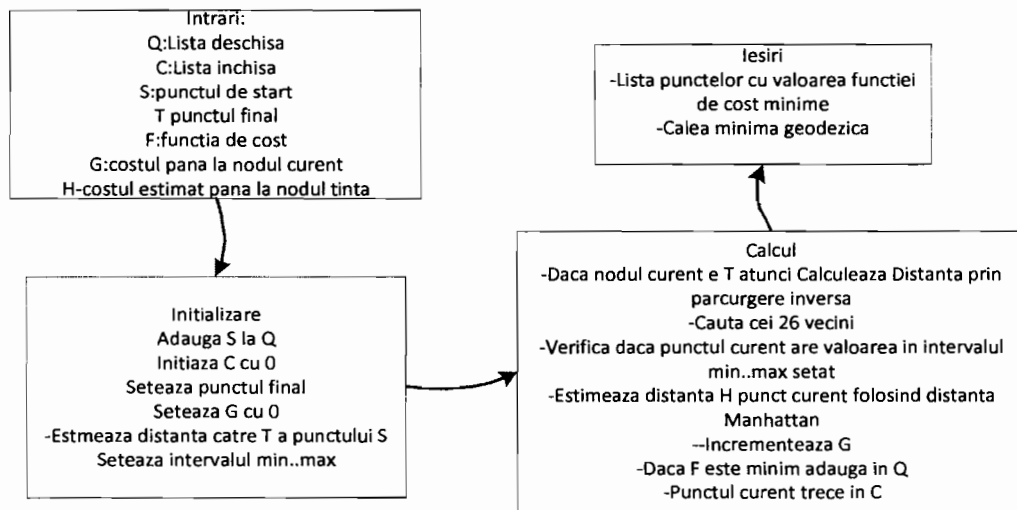


Figura 7

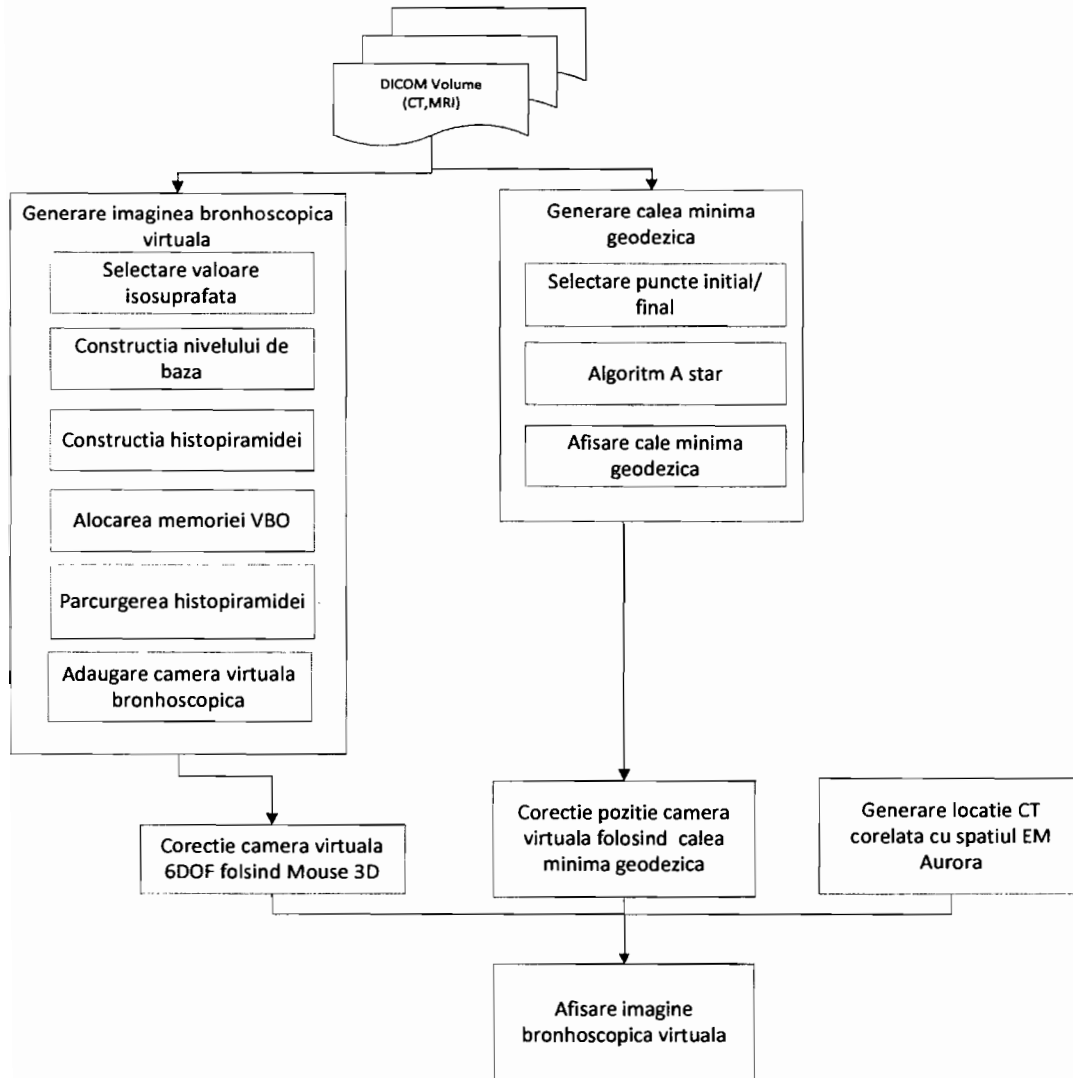


Figura 8

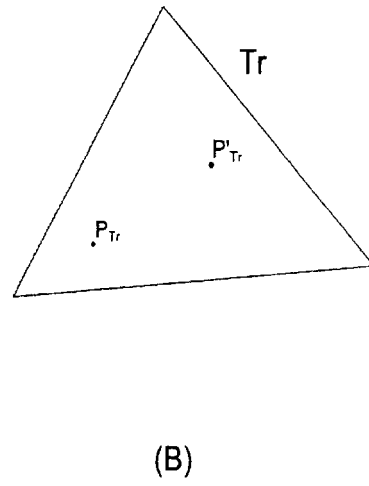
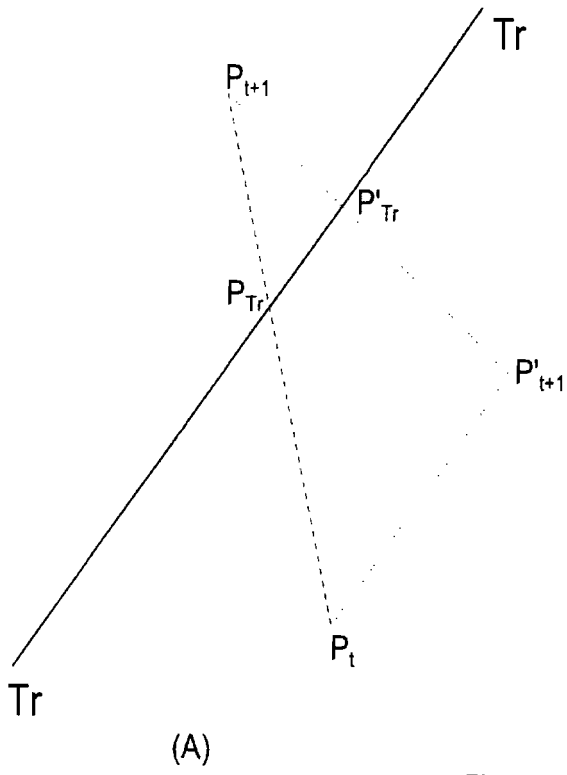


Figura 9

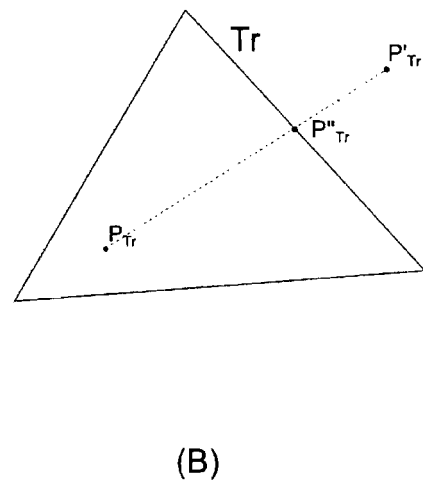
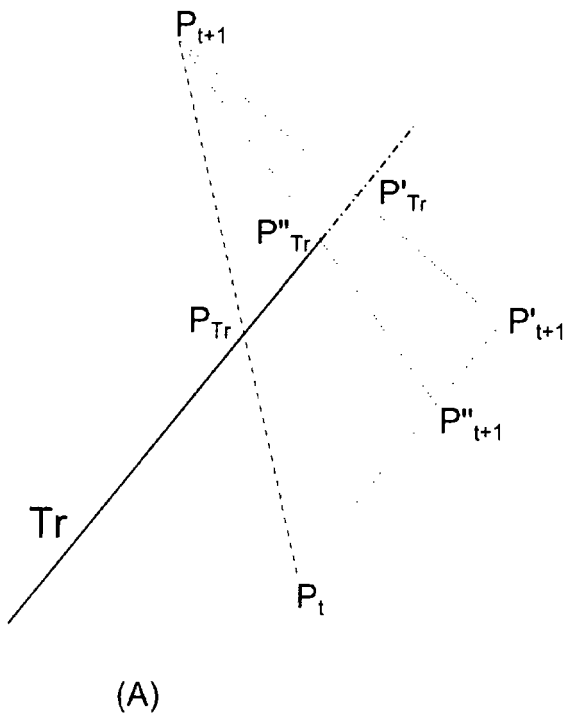


Figura 10