



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2017 00441

(22) Data de depozit: 03/07/2017

(41) Data publicării cererii:  
30/01/2019 BOPI nr. 1/2019

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ  
ȘI FARMACIE DIN CRAIOVA,  
STR. PETRU RAREȘ NR. 2, CRAIOVA, DJ,  
RO

(72) Inventatori:  
• VERE CRISTIN CONSTANTIN,  
CALEA BUCUREȘTI NR.67, BL.A 22, SC.1,  
ET.4, AP.14, CRAIOVA, DJ, RO;

• STREBA COSTIN TEODOR,  
ALEEA ANUL 1848 NR. 19, CRAIOVA, DJ,  
RO;  
• IONESCU MIHAELA, STR.CASTANILOR  
NR.8, BL.3 B, SC.1, ET.1, AP.4, CRAIOVA,  
DJ, RO;  
• STREBA LILIANA, ALEEA ANUL 1848  
NR. 19, CRAIOVA, DJ, RO;  
• ROGOVEANU ION, STR.REMUS NR.1,  
CRAIOVA, DJ, RO

(54) INFRASTRUCTURA DE SUPTOR PENTRU DIAGNOSTIC  
IMAGISTIC INTELIGENT

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem de diagnosticare asistată de calculator, capabil să ajute medicii în procesul de interpretare mai rapidă și mai fiabilă a înregistrărilor furnizate de o videocapsulă endoscopică, combinând aceste informații cu cele obținute în urma examinării tomografice computerizate, destinat în special patologiei tractului digestiv. Sistemul conform invenției este format dintr-un dispozitiv (4) mobil de introducere a datelor, aflat în posesia unui medic, și dintr-un sistem informatic (6) central care dispune de o bază de date (8), un set de module de prelucrare imagistică, și un ansamblu de rețele neuronale (9) complexe, în care sistemul (6) preia datele unui pacient și fișierele rezultate în urma investigațiilor imagistice, furnizate de medic de la distanță prin intermediul unei interfețe grafice (5) a dispozitivului (4) mobil, le stochează în baza de date (8) din care setul de module de prelucrare imagistică și rețelele neuronale (9) le preiau și le prelucrează, oferind medicului un set de secvențe imagistice cuprinzând leziuni ale tractului digestiv, împreună cu clasificarea acestora.

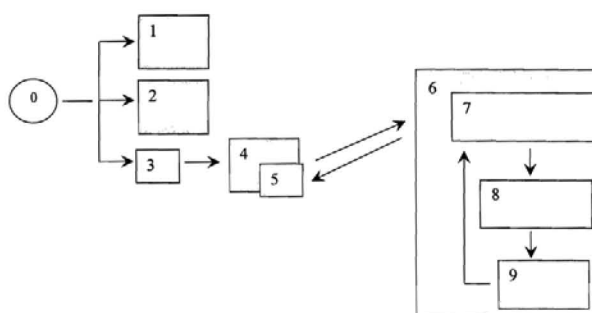
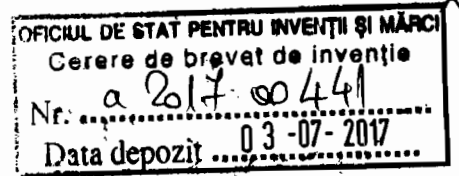


Fig. 1

Revendicări: 1  
Figuri: 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





## DESCRIEREA INVENȚIEI

### „INFRASTRUCTURA DE SUPORT PENTRU DIAGNOSTIC IMAGISTIC INTELIGENT”

Invenția se referă, în general, la un sistem avansat de diagnosticare asistată de calculator (CAD) capabil să ajute medicii în procesul de interpretare mai rapidă și mai fiabilă a înregistrărilor furnizate de videocapsula endoscopică (VCE), combinând aceste informații cu datele obținute în urma examinării tomografice computerizate (CT).

Sistemul se va baza pe diferite tehnici de recunoaștere a imaginilor utilizate pentru a izola leziunile și a elimina posibilele artefacte cu caracteristici similare din analiză, beneficiind pe deplin de aspectele colaborative ale aplicațiilor de telemedicină, ale interfețelor web și ale dispozitive portabile. Datele de ieșire ale algoritmilor vor reprezenta intrări într-un ansamblu de rețele neuronale artificiale multi-stratificate (ANN), capabile de auto-îmbunătățire. Întregul ansamblu va fi conceput ca un sistem cloud-based, staționar, dar complet integrat în World Wide Web și în alte rețele de comunicare, proiectat astfel încât o mare varietate de date vor fi utilizate în primele etape pentru a antrena sistemul în vederea finalizării cu succes a sarcinilor sale. Cea de-a doua componentă a sistemului va combina datele imagistice extrase din înregistrările tomografice computerizate și datele imagistice achiziționate de VCE în timp real din intestinul subțire, obținându-se astfel o explorare tridimensională prin intestinul subțire sau chiar prin segmentele superioare/inferioare ale tractului digestiv, oferind un ajutor în plus pentru clinicieni.

Sistemul este format dintr-un dispozitiv mobil de înregistrare și transmitere a datelor către o unitate centrală, care execută clasificarea leziunilor prezente la nivelul tractului digestiv, în urma prelucrării cu ajutorul tehnicilor specifice de prelucrare imagistică, precum și a celor de învățare bazate pe rețele neuronale, combinând informațiile obținute în urma investigațiilor VCE și CT. Toți parametrii sunt preluați în timp real de către clinician, sistemul propriu-zis fiind considerat de tip “cloud-computing”; introducerea datelor se realizează la distanță, prin intermediul unei interfețe grafice, folosind dispozitivul mobil dedicat, conectat în permanență la Internet.

Sistemul poate fi folosit pentru identificarea patologiei tractului digestiv în contextul stabilirii unui diagnostic într-o consultație clasică, dar și în cadrul aplicațiilor de telemedicină, putând fi un sistem expert de referință pentru centre aflate la distanță. De asemenea, poate fi folosit atât în activitățile de formare a cadrelor medicale, cât și în clinici specializate, deoarece ușurința relativă de utilizare și abordarea interactivă îl fac un instrument util în procesul de predare pentru personalul medical din învățământul superior.

Prin intermediul interfeței unității mobile, cadrul medical introduce informațiile clinice corespunzătoare pacientului, la care se adaugă datele din investigațiile imagistice (VCE și CT) preluate în format electronic în urma investigațiilor corespunzătoare. Ulterior, modulul trimite datele prin intermediul unei conexiuni Internet permanente (abonament mobil de date sau rețea wireless existentă) către un sistem informatic central, unde sunt introduse într-o bază de date, de unde ansamblul de rețele neuronale prelucrează informația și oferă medicului un răspuns specific.

Invenția propune integrarea unui sistem avansat de analiză imagistică asistat de un modul CAD bazat pe ANN, într-o platformă completă integrată web, disponibilă într-o varietate de forme, concepute pentru a aborda o provocare specifică, reprezentată de clasificarea și interpretarea corectă a înregistrărilor VCE. Multiple încercări au fost făcute pentru a integra soluții software și pentru a-i ajuta pe medici să identifice leziunile prezente în imaginile obținute prin VCE și CT, ce însumează ore întregi de vizualizare; cu toate acestea, din câte știm, aceasta este cea mai avansată și mai coerentă abordare a problemei de față. Sistemul descris în această invenție va fi disponibil pentru o multitudine de platforme mobile - tablete, smartphone-uri, precum și stații de lucru mobile sau staționare (laptop-uri sau computere dedicate), toate fiind conectate cu mainframe-ul care va dispune de interfața unificată și de procesele back-end necesare pentru analiza imagistică și diagnosticul asistat de ANN. Acest produs va fi un instrument foarte util medicilor din întregul sistem medical - de la spitale mari, la clinici mai mici, care nu dispun de expertiză pentru interpretarea VCE, oferind un ajutor independent pentru clasificarea imaginilor semnificative. O a doua utilizare a acestui sistem va fi în scopuri formative pentru tinerii medici, ca parte integrantă în educația lor medicală, deoarece va asista luarea unor decizii și va oferi indicii utile și rapide pentru un diagnostic de succes. În plus, a doua componentă reprezentată de enteroscopia virtuală, care combină datele volumetrice obținute la CT cu aspectul imagistic al texturii mucoasei intestinale oferite de VCE, este un instrument nou și interesant care poate fi utilizat în scopuri didactice și de instruire, atât în formarea universitară, cât și în cea post-universitară.

Intestinul subțire este în prezent cel mai dificil de examinat segment al tractului digestiv, datorită locației sale distale față de ambele orificii naturale, utilizate în mod curent în timpul endoscopiei digestive de rutină. Cu toate acestea, examinarea este vitală deoarece un număr important de patologii, majoritatea maligne cu implicații vitale pentru pacient, sunt localizate la acest nivel. Tehnicile de diagnosticare standard sunt limitate la investigațiile radiologice cu bariu, push-enteroscopia și enteroscopia intraoperatorie, arteriografia selectivă, scintigrafia sau tomografia computerizată. Toate aceste metode sunt fie prea invazive fie nu furnizează date suficiente pentru un diagnostic precis.

Videocapsula endoscopică, împreună cu enteroscopia cu balon (simplu sau dublu), sau în spirală sunt considerate două din cele mai valoroase mijloace de investigație aflate la dispoziția gastroenterologului. VCE este în prezent metoda de explorare optimă a intestinului subțire, datorită facilității sale de utilizare și a costului relativ redus.

Sistemul VCE constă dintr-un dispozitiv cilindric cu dimensiuni de aproximativ 26x11 mm și cu o greutate de aproximativ 3 grame. Senzorul de imagine de la bord captează 4 până la 14 de imagini pe secundă. Dispozitivul conține, de asemenea, o matrice cu LED-uri, circuite optice, un chip de control ASIC, un sistem antenă RFID, și o baterie ce funcționează aproximativ 8 ore (durata medie a unui tranzit GI complet). Filmul rezultat conține peste 50000 de imagini, ce sunt transmise la un dispozitiv de înregistrare exterior echipat cu o serie de electrozi, care este ușor de purtat, pacientului fiindu-i permis să efectueze o serie de activități simple. Înregistrările sunt preluate pentru analiza ulterioară cu ajutorul unor stații de lucru performante, cu posibilitatea de a fi vizualizate pe un mic ecran LCD atașat la aparat.

Ulterior, un clinician cu experiență are nevoie de două până la patru ore pentru a analiza înregistrările video, în funcție de experiența acestuia și de natura patologiei suspectate. Implicat, este necesară dezvoltarea sistemelor capabile să realizeze analiza automată a

imaginilor și să ofere suport în posibila detectare și clasificare a leziunilor. Astfel, cadrul medical are nevoie de un sistem inteligent, capabil să analizeze ansamblul imaginilor VCE, pentru a identifica o serie de cadre modificate și a clasifica potențialele leziuni, totodată ajutând investigatorul în explorarea tractului digestiv. Combinarea acestor imagini cu cele obținute în urma investigației CT oferă un plus de precizie în stabilirea diagnosticului, și o nouă perspectivă asupra tractului digestiv. O serie de metode de procesare imagistică și tehnici de inteligență artificială vor fi folosite în scopul segmentării automate a conținutului cadrelor și pentru clasificarea leziunilor.

Rețeaua neuronală reprezintă un ansamblu de structuri de decizie denumite neuroni, ale căror conexiuni sunt modulate în decursul unei serii de etape consecutive, respectiv de antrenare, validare și testare. Straturile formate de acești neuroni se împart în trei categorii: de intrare, decizionale și de ieșire. În stratul de intrare, datele în format numeric sunt introduse în sistem, unde fiecărui parametru îi este acordată o pondere, care în final contează pentru rezultatul final, în urma calculului nonlinear bazat pe respectivele ponderi. În timpul procesului de antrenare, ponderile sunt ajustate corespunzător, astfel încât rezultatul să se apropie de cel preconizat.

Rețelele neuronale cu caracter aplicativ în medicină au fost utilizate în cadrul aplicațiilor medicale și în trecut, în procesul de diagnostic, în preconizarea riscurilor sau în evaluarea prognosticului unor afecțiuni. Rezultatele au fost variabile, în funcție de tipul parametrilor introduși, de calitatea și relevanța acestora, precum și de eficiența procedurilor folosite în cadrul antrenării. Rețelele neuronale folosite până acum în studiile medicale și în special în identificarea și clasificarea patologiei tractului digestiv au prezentat o serie de limitări:

- numărul scăzut de imagini implicate în procesul de antrenare, fapt ce a condus la alegerea unor variabile prea specifice, cazurile fiind încadrate "ideal" în modelul de diagnostic urmărit;
- identificarea incompletă a parametrilor imagistici specifici patologiei urmărite;
- selecția eronată a setului de date de intrare, fie prea numeroase, fie insuficiente, fie lipsite de importanță clinică;
- estimarea greșită a ratei de erori, rezultată în urma unei validării necorespunzătoare;
- oprirea procesului de învățare după un număr redus de cazuri, sistemului lipsindu-i astfel plasticitatea și adaptabilitatea care ar fi trebuit să fie definatorii.

Problema tehnică pe care o vizează prezenta invenție este îmbunătățirea metodei de diagnostic asistat de un sistem expert bazat pe un ansamblu de rețele neuronale, aplicat patologiei tractului digestiv, cu precădere a intestinului subțire, capabil să combine diferite tehnici de explorare imagistică în vederea creșterii acurateței de detecție a leziunilor.

Acest scop se obține prin următoarele caracteristici specifice:

- datele de intrare pot fi introduse în timp real, din orice locație unde există acces Internet, permițând practic utilizarea sistemului în aproape orice context clinic existent;
- datele pot fi introduse în timp real, prin folosirea dispozitivului dedicat;
- validarea poate fi făcută în orice moment și de către operatorii umani, în vederea

- eliminării posibilităților de estimare greșită a ratei de eroare;
- parametrii vor fi memorați într-o bază de date dinamică, de unde pot fi folosiți ulterior pentru antrenări succesive, ulterior validării diagnosticelor de către un clinician cu experiență; în acest mod este eliminat unul din principalele inconveniente ale rețelelor neuronale clasice, și anume oprirea procesului activ de învățare la un anumit nivel;
  - numărul de cazuri prezente în sistem este practic nelimitat, existând oricând centre medicale de referință capabile să ofere rezultate noi pentru îmbunătățirea sistemului;
  - înregistrarea și prelucrarea datelor se vor efectua centralizat, în cadrul sistemului dedicat pentru acest scop, aflat la distanță;
  - folosirea investigațiilor imagistice efectuate, prin conversia acestora în valori numerice specifice caracteristicilor vizuale ale leziunilor posibil întâlnite la nivelul tractului digestiv;
  - sistemul permite atât analiza individuală a imaginilor tractului digestiv, oferind un răspuns punctual, dar și analiza întregului film rezultat în urma investigației VCE, pentru un răspuns complet;
  - modularitatea sistemului îi permite să ofere un rezultat chiar în absența investigației CT, prin analiza imaginilor disponibile și determinarea unui rezultat stabilit cu un anumit grad de eroare; sistemul este astfel flexibil și elimină subiectivismul unui operator uman.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile 1 și 2. Figura 1 reprezintă o diagramă bloc a sistemului automat mobil pe bază de rețele neuronale pentru identificarea și clasificarea leziunilor prezente la nivelul tractului digestiv.

Operatorul (reperul 0) achiziționează cu ajutorul sistemului VCE (1) și CT (2), imaginile specifice tractului digestiv, care sunt transferate cu ajutorul unui dispozitiv mobil de transfer (3) în dispozitivul mobil (4). Prin intermediul interfeței grafice (5), operatorul (0) poate selecționa fie întregul film, fie secțiuni din acesta, pentru prelucrări ulterioare. Sistemul mobil 4 trimite datele prin intermediul unei conexiuni wireless securizate către unitatea centrală 6, un calculator personal conectat la Internet, cu o adresă unică, care conține aplicația de primire a datelor (7), baza de date (8) și ansamblul de rețele neuronale (9). Baza de date conține atât imaginile originale, cât și valorile numerice care codifică parametri imagistici selecționați.

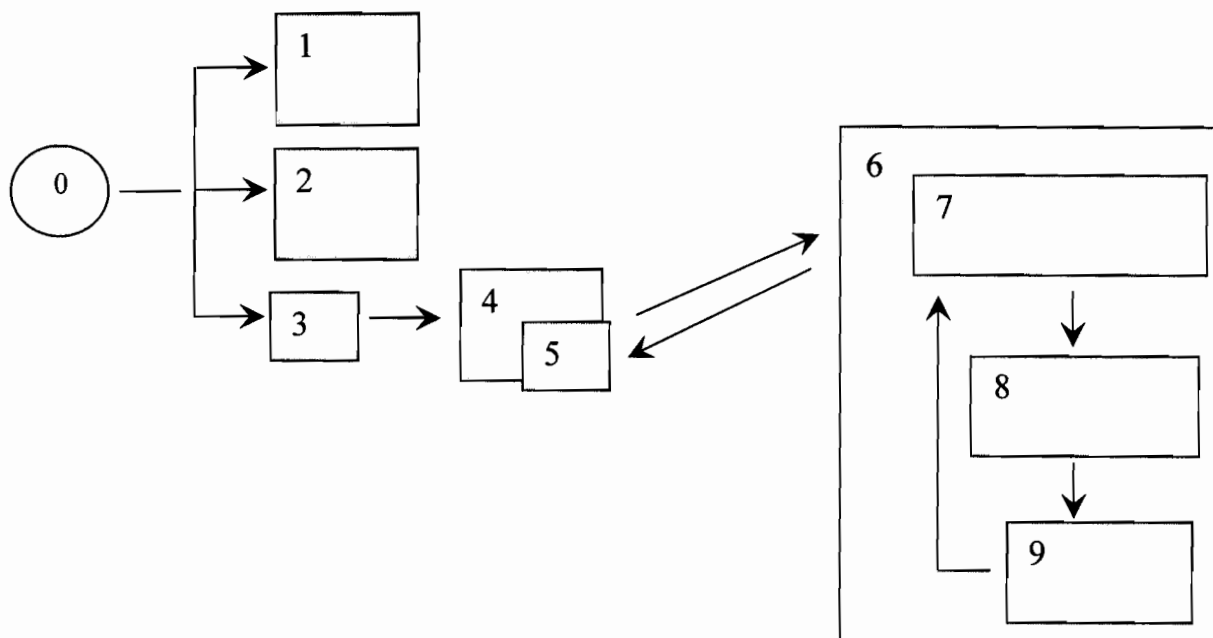


Fig. 1

Figura 2 prezintă o diagramă a fluxului de lucru care pune accentul pe etapele succesive necesare pentru o analiză completă a imaginilor. "Distanța" dintre filmul VCE original alături de investigațiile CT, și setul de leziuni identificate și clasificate din acele secvențe nu poate fi parcursă într-un singur pas. Secvențele de prelucrare sunt complexe și utilizează mai multe etape care conduc medicul mai aproape de rezultatul așteptat. Algoritmul general este compus din mai multe etape majore: analiza fiecărui cadru VCE, clasificarea sa ca ca imagine utilizabilă (dacă aceasta oferă informații relevante sau nu), eliminarea potențialelor artefacte înșelătoare (bule, resturi alimentare), determinarea și extragerea caracteristicilor specifice fiecărui cadru, folosirea unui sistem inteligent pentru clasificarea cadrelor individuale; dacă o anumită leziune este identificată, este necesară analiza următoarelor cadre pentru a determina dacă aceeași leziune apare în mai multe ipostaze; ulterior, se efectuează o analiză de ansamblu, pentru reconstruirea leziunii și clasificarea ei. Rezultatul algoritmului este o colecție de reconstituiri ale potențialelor leziuni identificate și clasificate anterior, cu scopul de a ajuta medicul examinator în stabilirea unui diagnostic.

Prima etapă primește ca date de intrare filmul VCE original și imaginile CT și furnizează un sub-produs reprezentat de un set de cadre utilizabile. Toate etapele ulterioare sunt înlănțuite, rezultatul unei etape constituind date de intrare pentru o altă etapă. Etapa finală furnizează un set de leziuni potențiale, alcătuit din reprezentarea grafică a leziunilor, identificatorii imaginilor care le conțin, clasificarea acestora și probabilitatea de clasificare. Fiecare etapă importantă poate constitui un pachet de lucru dedicat, acestea fiind concepute pentru a primi date de intrare și a furniza date de ieșire independente.

Arhitectura propusă vizează un sistem cu conectivitate crescută și interoperabilitate prin utilizarea standardelor HL7. Obiectivul principal este proiectarea unui sistem informatic capabil să integreze și să combine diferite etape, implementate ca module individuale, într-o aplicație centralizată care facilitează realizarea unei sarcini unice și promovează reutilizarea și integrarea corespunzătoare a informațiilor.

O descriere a modului de funcționare a metodei se regăsește în cele ce urmează:

- medicul examinează pacientul prin metodele convenționale; ulterior, se efectuează examinarea cu videocapsula endoscopică, precum și investigația computer tomograf, conform protocoalelor clasice;
- la terminarea investigațiilor, înregistrările sunt preluate pe dispozitivul mobil cu ajutorul unui dispozitiv mobil de înregistrare (de exemplu un stick USB);
- medicul utilizează dispozitivul mobil pentru introducerea datelor, apoi prelucrează filmul obținut, cu determinarea potențială a secvențelor de interes, dacă nu se dorește utilizarea întregului film. Dispozitivul mobil extrage datele relevante și le prelucrează, în vederea transmiterii către sistemul central;
- datele sunt transmise la distanță către sistemul central, unde sunt prelucrate;
- ansamblul de rețele neuronale preia datele semnificative iar în câteva secunde este oferit un rezultat;
- medicul primește o potențială identificare și clasificare a leziunilor întâlnite la nivelul tractului digestiv, cu un anumit grad de siguranță;
- medicul stabilește un diagnostic personal, care va fi ulterior folosit într-o nouă procedură de antrenare a ansamblului de rețele neuronale, dacă diagnosticul se confirmă.

## REVENDICĂRI

Sistem semi-automat pe bază de ansamblu de rețele neuronale pentru identificarea și clasificarea patologiei tractului digestiv, cu precădere a intestinului subțire, **caracterizat prin aceea că** include o unitate mobilă (4) de introducere a datelor corespunzătoare pacientului, împreună cu datele numerice rezultate din analiza imaginilor furnizate medicului în urma efectuării investigațiilor imagistice, un sistem informatic central (6) ce conține o interfață de preluare a informațiilor (7), o bază de date (8) și un ansamblu de rețele neuronale (9). Se oferă medicului un răspuns imediat prin intermediul aceluiași dispozitiv mobil, răspunsul fiind de asemenea salvat în baza de date (8), medicul introducând propriul diagnostic care reantrenează sistemul oferind noi ponderi pentru noile seturi de date introduse la nivel global în sistem.



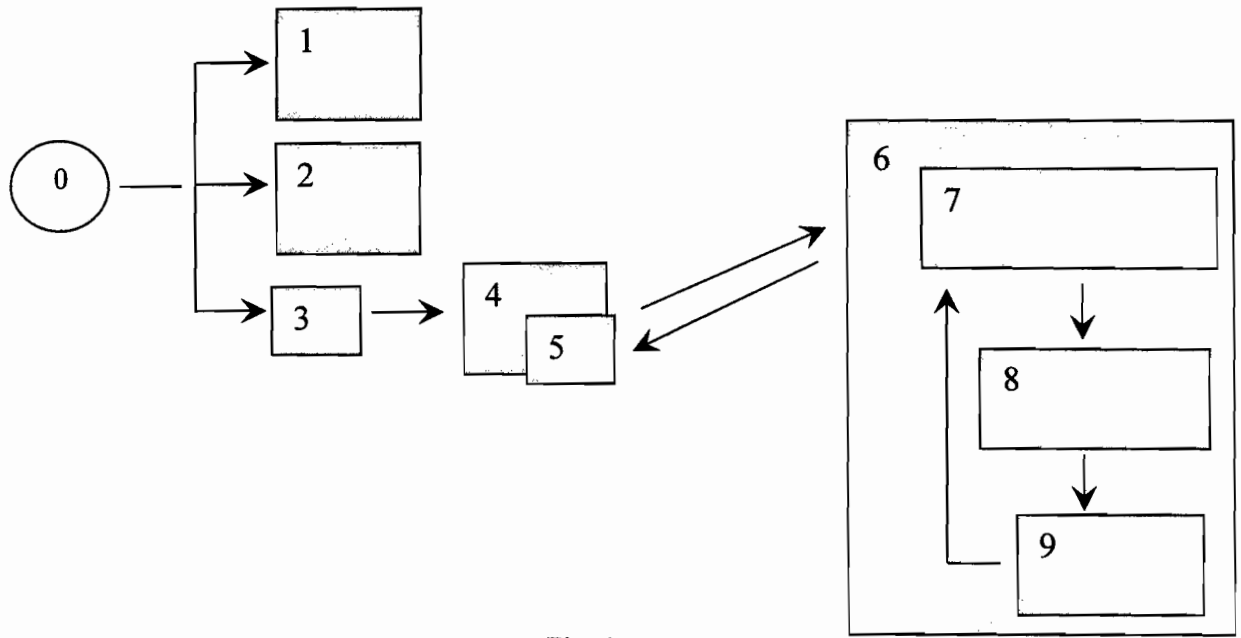


Fig. 1

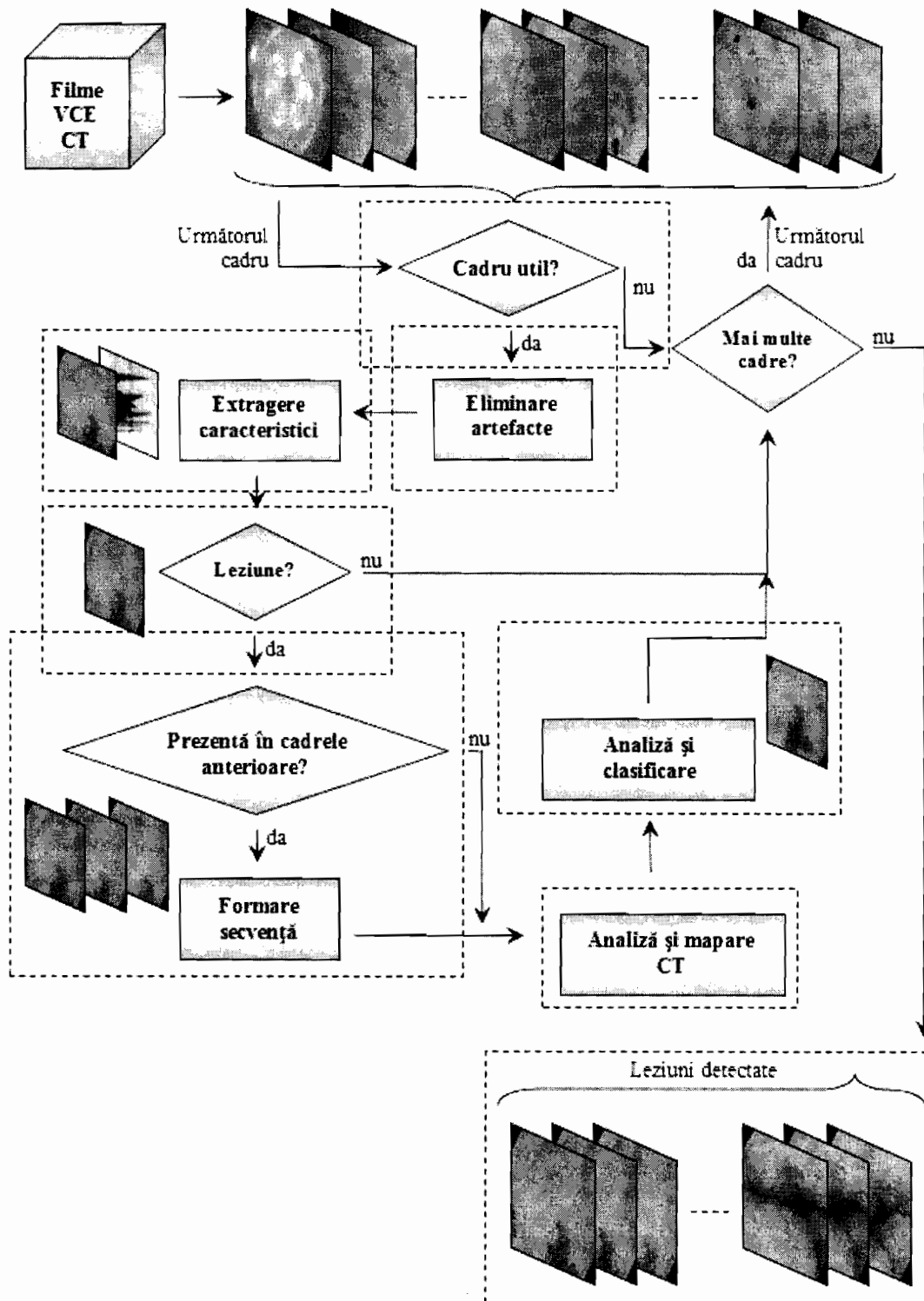


Fig. 2