



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2021 00599**

(22) Data de depozit: **30/09/2021**

(41) Data publicării cererii:
30/03/2023 BOPI nr. **3/2023**

(71) Solicitant:
• **UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI
NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **BOIANGIU COSTIN-ANTON,
BD.LUPTĂTORILOR, NR.80, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **VLĂSCEANU GIORGIANA VIOLETA,
STR.NICOLAE BĂLCESCU, BL.3A, AP.19,
RĂMNICU SĂRAT, BZ, RO;**
• **STĂNILOIU CONSTANTIN EDUARD,
STR.FABRICII, NR.53, ET.3, AP.35,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(54) **METODĂ PENTRU DETERMINAREA COMPONENTELOR
CONECTATE DIN IMAGINI BINARE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă pentru determinarea componentelor conectate dintr-o imagine binară, utilizând structuri de date simple, eficiente și memorie direct proporțională cu numărul de run-length-uri din imaginea de intrare. Metoda conform invenției cuprinde efectuarea pașilor prezentați în schema din figura 5.

Revendicări: 5
Figuri: 5

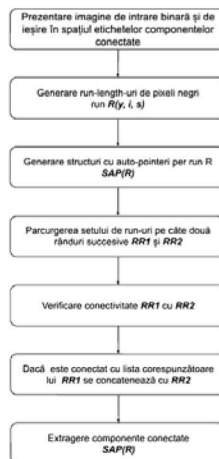


Fig. 5

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).



METODA PENTRU DETERMINAREA COMPONENTELOR CONECTATE DIN IMAGINI BINARE

Introducere

Metoda prezentată are ca scop determinarea rapidă a componentelor conectate [1] dintr-o imagine binară. Utilizează structuri de date simple, eficiente și memorie direct proporțională cu numărul de run-length-uri [2] din imaginea de intrare. Complexitatea scăzută pentru cele mai multe tipuri de conexiuni ale componentelor întâlnite în practică și operațiile simple executate o recomandă pentru sarcini extrem de intensive de detecție a componentelor.

Metoda utilizează o abordare originală ce va fi prezentată detaliat în cele ce urmează și va fi analizată în comparație cu cele mai cunoscute metode din state-of-the-art, și anume Sauf, descrisă de Wu et al [3], BBDT descrisă de Grana et al [4] și Spaghetti, descrisă de Bolelli et al. [5].

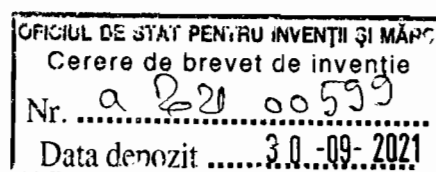
Domeniu și background

Prezenta metodă face parte din domeniul procesării imaginilor și este mai precis despre metode pentru etichetarea componentelor conectate.

În cadrul anumitor aplicații, poate fi util să se poată clasifica și conecta anumite zone care au aceeași etichetă sau pot forma o regiune pe bază de contiguitate. O astfel de grupare poate fi studiată, procesată, analizată și tratată ca un tot unitar, pentru a îi determina proprietăți ale sale, identificată din ce obiect face parte, sau să fie aplicată o anumită procedură elementelor din acea grupare. Pentru a exemplifica aici, se poate considera situația în care se poate aplica un filtru pe regiunea aferentă acestei grupări.

Procesul de a conecta elemente în regiuni se referă ca etichetarea componentelor conectate precum în Fig 1. Componentele conectate în imaginile binare sunt acele grupări de pixeli ce formează un grup. În domeniul procesării de imagini, conectivitatea între pixelii unei imagini (2D sau 3D) este definită de relația unui pixel cu vecinii săi, cum se poate observa în Fig 2. Un pixel este conectat 4-way cu vecinii săi de pe orizontală și verticală; cu alte cuvinte, pixelul de coordonate (x, y) are ca vecini pixelii de coordonate $(x \pm 1, y)$ și $(x, y \pm 1)$. Un pixel este conectat 8-way și cu vecinii săi de pe diagonală; cu alte cuvinte, pixelul de coordonate (x, y) are ca vecini și pixelii de coordonate $(x \pm 1, y \pm 1)$ [6]. Problema etichetării acestora este bine definită și există o serie de soluții descrise în literatură pentru domeniul procesării imaginilor ce sunt considerate metode de etichetare a componentelor conectate. Această tehnică este întâlnită în analiza de imagini pentru Computer Vision. De exemplu, o metodă poate fi aplicată pe o imagine binară pentru a separa pixelii obiectelor din prim plan față de pixelii de fundal. O altă utilizare a componentelor conectate etichetate poate fi atribuirea de etichete numerice zonelor din imagine. Această metodă mai este folosită și la segmentarea datelor pentru structuri 1D, 2D, 3D, pe date financiare sau audio.

Metodele ce abordează etichetarea componentelor conectate ale unei imagini, ținând cont de arhitectura pe care se rulează și / sau structurilor de date care se folosesc, se pot încadra în 5 clase: 1) metode pentru imaginile reprezentate de structuri speciale, de exemplu, structurile arborescente ierarhice; 2) metode pentru rulare în paralel, pe clustere



de procesoare; 3) metode pentru implementarea hardware; 4) metode pentru imagini 3D sau n-dimensionale; 5) metode pentru arhitecturi obișnuite de calculatoare, cum ar fi arhitectura Von Neumann și imagini bidimensionale. Majoritatea tehnicilor discutate sunt cele care se încadrează în ultima categorie deoarece imaginile de cele mai multe ori nu sunt reprezentate prin structuri speciale.

Pentru arhitecturi obișnuite de calculatoare și imagini bidimensionale, există în principal două tipuri de metode de etichetare a componentelor conectate: metode bazate pe propagarea etichetelor și metode bazate pe rezolvarea echivalenței etichetelor. Vom puncta câteva metode consacrate pentru această categorie.

Metode bazate pe propagarea etichetelor caută prima dată un obiect fără etichetă, etichetează acel pixel, apoi, în procesarea ulterioară, propagă aceeași etichetă către toți pixelii obiect care sunt conectați la pixel. Deoarece etichetele atribuite pixelilor obiectului nu se vor schimba niciodată, acești algoritmi pot fi extinși cu ușurință pentru a calcula caracteristicile de formă ale obiectelor, cum ar fi suprafața, centroidul, perimetrul etc., în timpul etichetării. Din această categorie, putem menționa algoritmul propus de F. Chang pentru etichetarea urmării conturului (The Contour Tracing Labeling - CTL) și etichetarea obiectelor hibride (Etichetarea obiectelor hibride - HOL) propus de Herrero.

Toți algoritmi bazati pe rezolvarea echivalentă a etichetei procesează o imagine binară în scanarea raster și constau din doi pași: în primul pas, atribuie o etichetă provizorie (pornind de obicei număratoarea de la 1) fiecărui pixel de obiect, care se termină întotdeauna în prima scanare; în al doilea pas, acestea integrează toate etichetele provizorii atribuite fiecărui obiect, care se numesc etichete echivalente, la o etichetă unică, care se numește etichetă reprezentativă, și înlocuiesc eticheta provizorie a fiecărui pixel de obiect cu eticheta sa reprezentativă. Procesul de integrare a etichetelor echivalente se numește rezolvarea echivalenței etichetelor. În funcție de numărul de scanări, aceștia pot fi puși pe categorii de tip: metode multi-scanare, metode cu patru scanări, metode cu două scanări, metode cu o scanare jumătate.

Date fiind aceste metode și abordări ale etichetării componentelor conectate (CCL), intervine problema evaluării vitezei de execuție a acestor strategii pe imagini binare.

Pași ai metodei propuse

1. Prezentare imagine de intrare binară (imaginea este constituită doar din pixeli albi și negri)
2. Prezentare imagine de ieșire în spațiul etichetelor componentelor conectate (elemente întregi cu convenția că fiecare grup de pixeli ce va aparține unei componente conectate sa fie etichetat cu aceeași valoare)
3. Generare run-length-uri de pixeli negri. Un *run* $R(y, l, s)$ este o secvență continua de pixeli pe același rând de coordonata Y , ce începe de la l (început, inclusiv) și se termină la s (sfârșit, inclusiv)



4. Generare structuri cu auto-pointeri per fiecare *run R*, notate $SAP(R)$ Aceste structuri $SAP(R)$ vor conține:

- Pointer către run-length-ul generator (R)
- Pointer $PRIM$ pentru primul element dintr-o componenta (se inițializează cu Auto-pointer către $SAP(R)$, însemnând că la intrarea în metodă fiecare componentă conectată are un prim element, pe ea însăși)
- Pointer URM pentru următorul element SAP aparținând aceleiași componente (se inițializează la NUL)
- Numărul de run-length-uri conținute NRL (se inițializează la 1, însemnând că la intrarea în metoda fiecare componentă conectată continue doar run-length-ul de start (R), cel care a generat $SAP(R)$)

Fiecare structură este corespunzătoare unei părți a unei componente conectate, ilustrată în Fig 3., cu următoarele convenții:

- SAP -urile sunt stocate într-un vector, fiind ordonate în sens raster al run-length-urilor generatoare
- Parcurgerea SAP -urilor aferente unui componente conectate se face conform unei liste simplu înlănțuite prin pointerii URM
- Capul listei este SAP -ul pentru care pointer-ul $PRIM$ arată către el însuși
- Numărul de run-length-uri (NRL) asociate unei componente conectate este actualizat (valid) doar în capul listei

5. Se parcurge setul de run-uri pe câte două rânduri succesive $RR1$ și $RR2$ (coordonata Y a lui $RR2$ este egală cu cea a lui $RR1 + 1$)

6. Se verifica conectivitatea $RR1$ cu $RR2$ astfel:

- Dacă se dorește obținerea conectivității în stil "4-way-connected" [CHENG]:
 $RR1.s \geq RR2.i \ \&\& \ RR1.i \leq RR2.s$
- Dacă se dorește obținerea conectivității în stil "8-way-connected" [CHENG]:
 $RR1.s + 1 \geq RR2.i \ \&\& \ RR1.i - 1 \leq RR2.s$

7. Dacă $RR1$ este conectat cu $RR2$ atunci lista corespunzătoare lui $RR1$ se concatenează cu cea corespunzătoare lui $RR2$, astfel:

- Fie $L1$ și $L2$ cele două liste de SAP -uri corespunzătoare lui $RR1$ și respective $RR2$
- $L1 = L1.PRIM$
- $L2 = L2.PRIM$
- Dacă $L1.NRL > L2.NRL$ atunci inversează logic $L1$ și $L2$ astfel încât $L1$ să fie lista corespunzătoare numărului mai mic de run-uri
- Setează $L2.NRL = L1.NRL + L2.NRL$
- Navighează $L1$ până la final utilizând pointerul URM și setează în fiecare SAP pointerul $PRIM$ pe valoarea $L2$
- Setează ultimul pointer URM din $L1$ pe valoarea $L2.URM$

8. La finalul parcurgerii listei de run-uri (sau implicit a vectorului de SAP -uri), extrage componentele conectate din lista de SAP -uri, ilustrat în Fig 4., astfel:

- Fiecare componentă va fi generată la întâlnirea unui prim *SAP* (notat mai departe *SAPP*) care are pointerul *PRIM* setat către el însuși
- Odată generată componenta, acesteia i se va aloca o etichetă unică *ET*
- Se navighează lista de *SAP*-uri pornind de la *SAPP*, pentru fiecare *SAP* iterat se navighează pixelii run-ului care l-a generat și se etichetează cu *ET*

Stadiul tehnicii

În US2008273772A1 [8] se definește metoda "*enhanced recursion*": metoda combină beneficiile aplicării recursive a unei metode de etichetare (viteza de calcul) cu beneficiile aplicării iterative a unei metode de etichetare (consumul redus de memorie). Se pleacă de la un pixel central; se descoperă iterativ vecinii săi 8-way direcți (acești pixeli sunt apoi numiți pixeli interni pixelului central) și vecinii 8-way ai pixelilor interni (numiți pixeli non-interni). Apoi se aplică recursiv metoda descrisă anterior pe pixelii non-interni descoperiți.

Regăsim în US2009196502A1 [9] o metoda de etichetare a componentelor conexe extinsă pentru a adăuga meta-informații componentelor identificate. Meta-informațiile sunt adăugate anticipativ pentru o serie de posibile procesări viitoare aduse imaginii, de exemplu segmentare.

Aceste abordări, precum și contextul prezentat în secțiunea "Domeniu și background" reliefează faptul că identificarea acestor zone aduce probleme în ceea ce prezintă spațiul de stocare, puterea computațională folosită, precum problema evaluării vitezei de execuție. Metoda propusă își propune să aibă printre rezultate un timp mai mic de execuție fără a compromite calitatea rezultatelor.

Performanțe comparate obținute ale metodei propuse

Metoda propusă a fost implementată și comparată cu implementările echivalente din OpenCV [7] ale algoritmilor SAUF [3], BBDT [4], Spaghetti [5], utilizând un set de date relevant compus dintr-o varietate atent și divers selecționată de 110 imagini document.

Atât implementarea propusă, cât și implementările cu care a fost făcută comparația au fost realizate în același limbaj de programare și compilate în cadrul aceluiași mediu de dezvoltare, cu aceleași setări de performanță, ceea ce face ca această comparație să fie relevantă.

Rezultatele obținute sunt cele din tabelul de mai jos, unde se poate observa un câștig important din punctul de vedere al timpului de execuție.

Metoda/Timp (ms)	Metoda propusă	SAUF	BBDT	Spaghetti
4-way-connectivity	198	308	317	286
8-way-connectivity	202	319	205	749

Bibliografie

- [1] Lifeng He; Xiao Zhao; Yuyan Chao; Kenji Suzuki, Configuration-Transition-Based Connected-Component Labeling. *IEEE Transactions on Image Processing* 23(2):943–951, Feb 2014.
- [2] Laurent Cabaret; Lionel Lacassagne; Daniel Etiemble. Parallel light speed labeling: an efficient connected component algorithm for labeling and analysis on multi-core processors. *Journal of Real-Time Image Processing* pp 1–24, 2006
- [3] Kesheng Wu, Ekow Otoo, and Kenji Suzuki. Optimizing two-pass connected-component labeling algorithms. *Pattern Analysis and Applications*, 12(2):117–135, Jun 2009.
- [4] Costantino Grana, Daniele Borghesani, and Rita Cucchiara. Optimized Block-Based Connected Components Labeling With Decision Trees. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19(6):1596–1609, 2010.
- [5] Federico Bolelli, Stefano Allegretti, Lorenzo Baraldi, and Costantino Grana. Spaghetti Labeling: Directed Acyclic Graphs for Block-Based Connected Components Labeling. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29(1):1999–2012, 2019.
- [6] Cho-Chun Cheng; Guan-Ju Peng; Wen-Liang Hwang, Subband Weighting With Pixel Connectivity for 3-D Wavelet Coding. *IEEE Transactions on Image Processing* 18(1):52–62, Jan 2009.
- [7] OpenCV (“Open Source Computer Vision Library”), URL: <https://opencv.org/about/>, Disponibil la: 5 August 2021.
- [8] Hu Qingmao, Nowinski Wieslaw Lucjan, Qian Guoyu, Component Labeling, Număr brevet US2008273772A1, Submis 2006-02-07, Publicat 2008-11-06, URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DUS2008273772A1>, Disponibil la: 10 August 2021.
- [9] Sullender Craig, Număr brevet US2009196502A1, Submis 2008-02-04, Publicat 2010-01-28, URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DUS2009196502A1>, Disponibil la: 10 August 2021.



Revendicări

1. Metodă pentru determinarea componentelor conectate din imagini binare **caracterizat prin aceea că prezintă stocarea pe poziții statice în memorie a întregii colecții de run-uri și a structurilor SAP echivalente,**
2. Metodă pentru determinarea componentelor conectate din imagini binare **conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că listele înlănțuite rezultate și relațiile dintre acestea nu modifică pozițiile elementelor constituate în memorie ci doar schimbă relațiile dintre acestea prin setarea pointerilor PRIM și URM, crescând procesarea fără alocări/dealocări de memorie la rulare;**
3. Metodă pentru determinarea componentelor conectate din imagini binare **conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că prezintă o adaptare imediată a metodei pentru conexiuni tip 4-way-connectivity sau 8-way-connectivity prin simpla modificare a relației dintre două run-uri de pe rânduri adiacente RR1 și RR2. Relația se poate generaliza pentru a încuraja conexiuni mai puternice sau mai slabe, prin setarea unui deplasament, astfel: $RR1.s + deplasament \geq RR2.i \ \&\& \ RR1.i - deplasament \leq RR2.s$;**
4. Metodă pentru determinarea componentelor conectate din imagini binare **conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că generează complet, fără mutări/alocări/dealocări de blocuri în memorie a fiecărei componente conectate în cazul unei operațiuni de unire cu o nouă componentă conectată, prin navigarea rapidă a celei mai scurte liste dintre L1 și L2 asociate celor două componente ce se unesc și setarea, în acest mod, de un număr minim de actualizări a noului cap de listă rezultat;**
5. Metodă pentru determinarea componentelor conectate din imagini binare **conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că permite gestionarea unei componente conectate doar prin menținerea convenției ca SAP-ul de start al acesteia să fie auto-referit de pointerul PRIM.**



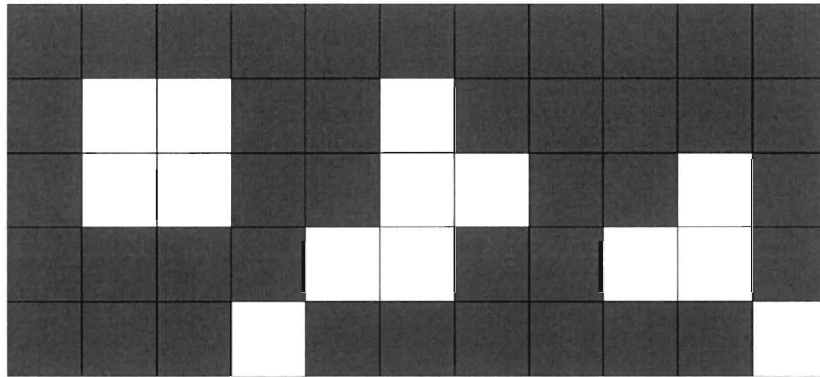


Fig 1. Componente conectate fără etichete

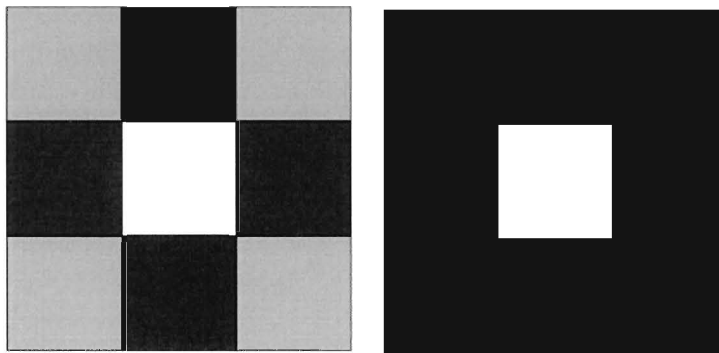


Fig 2. Conectivitate: 4-way-connectivity și 8-way-connectivite

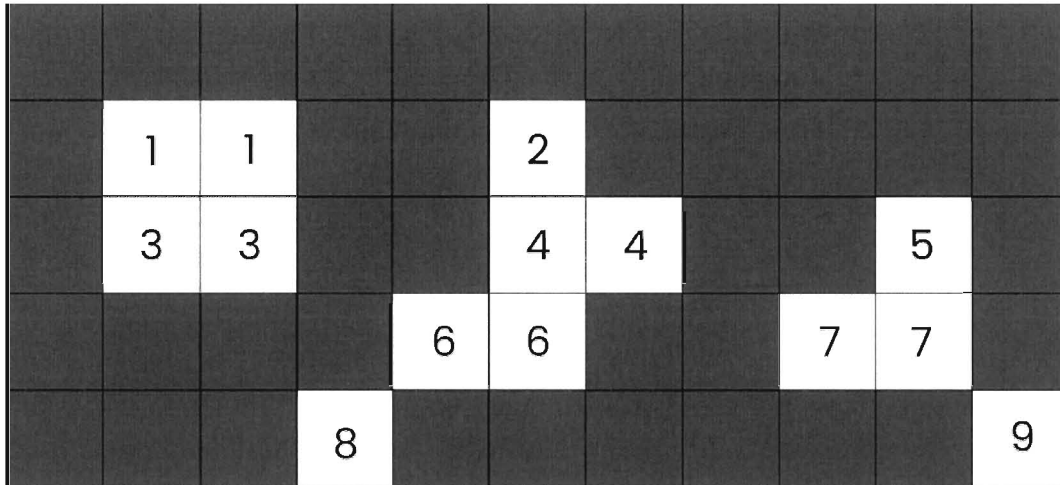


Fig 3. Primul pas de etichetare

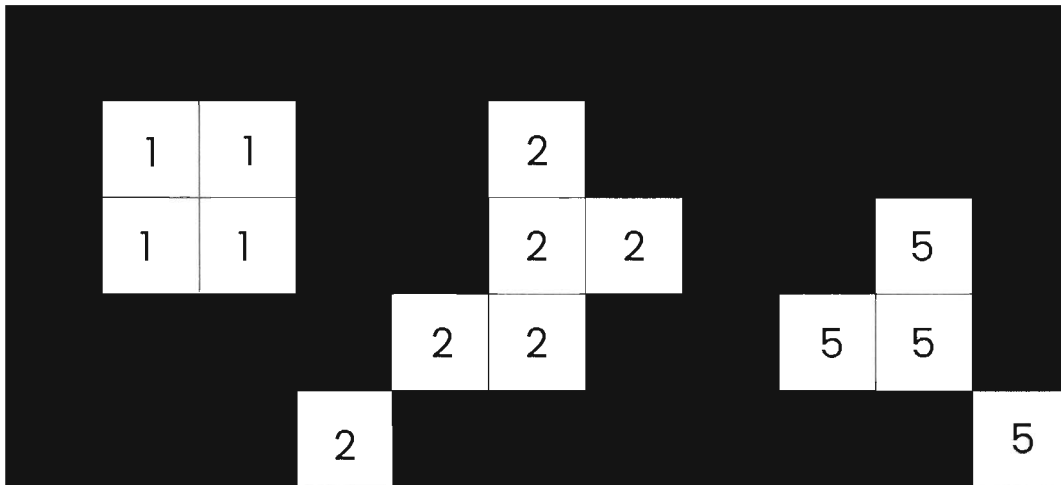


Fig 4. Rezultatul etichetării componentelor conectate

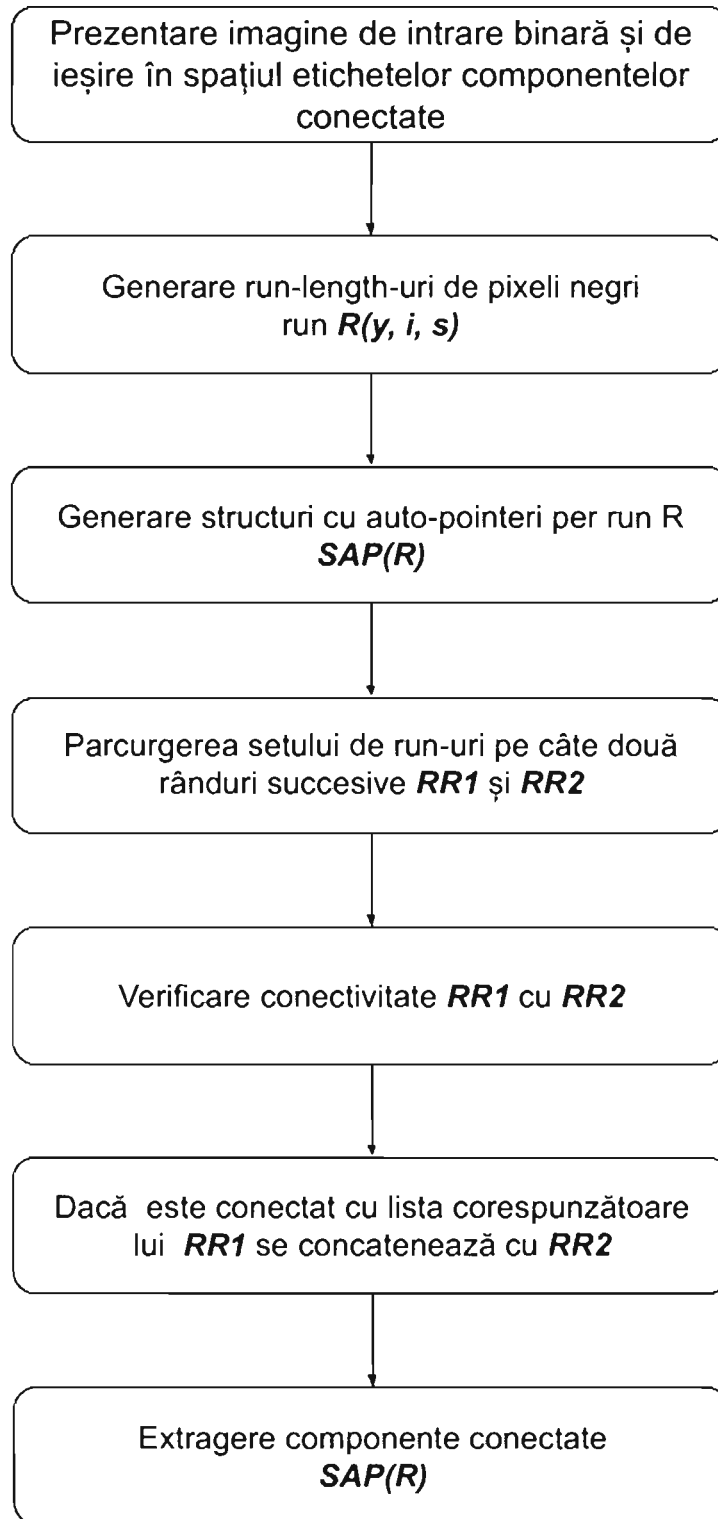


Fig 5. Metoda de etichetare al componentelor conectate