

Orvosi felvételek wavelet, fuzzy Hough-transzformáció, entrópia és Hesse-szűrő alapú elemzése

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a vastagbélrák egy egyre elterjedtebb betegség, világszinten a 3. leggyakoribb betegségnek mondható, legfőképpen az 50 évnél idősebb lakosság az érintett. Emiatt társadalmi szempontból nagyon fontos a vastagbél polipokra vonatkozó átfogó szűrés, hiszen ezen polipok egy része idővel vastagbélrákká alakul. Maga az orvosi képfeldolgozás nagy segítség az orvosoknak egy-egy diagnózis felállításánál. Nem kívánunk elterelni az orvost, tehát nem automatizálni, hanem kizárólag segíteni, megkönnyíteni a munkáját. Több különböző polip típust is megkülönböztetnek a szakirodalomban, a leggyakoribb típusok a tubulárisadenoma, villosusadenoma, tubulo-villosusadenoma és a papilláris, amely másnéven a fogazott adenoma.^[2]

A szűrés maga egy kolonoszkópiai vizsgálat, melyet kizárólag szakorvos végezhet. Kétséget keltő, bonyolult és költséges diagnosztikai módszer.

Kutatásom során 3 adatbázissal dolgoztam (CVC-Colon, Etis-Larib és CVC-Clinic), melyek anonimizáltak és ingyenesen elérhetők az interneten regisztráció után, kutatási célból. A MICCAI (Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention) challenge felhívásra készítették őket, Bernal^[3] és munkatársai, akik különböző detektálási módokat fejlesztettek ki a polipok felismerésére alakjuk alapján. Az általam használt 3 adatbázis különböző mennyiségű és felbontású kolonoszkópiai képeket tartalmaz. Az adatbázisok rendre 380, 195 és 612 képet tartalmaznak, melyek pontos mérete és felbontása 574x500, 1225x966 és 384x288, 72 dpi, 72 dpi, 96 dpi, illetve az első adatbázis alacsony szintű tömörített képeket tartalmaz, míg a másik két adatbázis képei tömörítetlenek. Minden adatbázis képeihez tartozik maszk is, amelyek kézzel készültek és

[1] Egyetemi adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Gépészmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar, Informatika Tanszék.

[2] BOSMAN, FRED T.: Chapter 5.5: Colorectal Cancer, 2014., in: Stewart, Bernard W. – Wild, Christopher P. (eds.): *World Cancer Report the International Agency for Research on Cancer, World Health Organization*, 392–402.

[3] BERNAL, JORGE – SÁNCHEZ, F. JAVIER – VILARINO, FERNANDO: Towards Automatic Polyp Detection with a Polyp Appearance Model', 2012, in: *Pattern Recognition*, Vol. 45, 3166–3182.; BERNAL, JORGE ET AL.: 'Comparative Validation of Polyp Detection Methods in Video Colonoscopy: Results from the MICCAI 2015 Endoscopic Vision Challenge', in: *Transactionson Medical Imaging*, IEEE, 2017, Vol. 36., 1231–1249.

a polipok helyét jelölik a képeken. A maszkok segítségével alkalmassá válnak az adatbázisok tanuló algoritmusok előállítására, valamint további más intelligens módszerek előállítására is, mint pl. a fuzzy osztályozási rendszer.

2. ANTECEDENSEK

Megvizsgáltuk a kolonoszkópiás felvételeken a polipokat tartalmazó területek jellemzőit. Első lépésként felosztjuk a képeket több négyzet alakú csempére, ezek mérete változtatható. Majd egy fuzzy osztályozási rendszer segítségével történik a döntés, hogy az adott képszegmens tartalmaz-e polipot vagy sem. Az osztályozó rendszerünk bemeneti változóit a következőképpen választottuk meg.

Sorszám	Antecedens neve
1-2	átlag(mean) és szórás (STD), R/H színcsatornákon
3-4	átlag és szórás, G/S színcsatornákon
5-6	átlag és szórás, B/V színcsatornákon
7	élsűrűség, R/H színcsatornákon
8	élsűrűség, G/S színcsatornákon
9	élsűrűség, B/V színcsatornákon
10-11	$S_{\text{STP}} \ln q$, R/H színcsatornákon
12-13	$S_{\text{STP}} \ln q$, G/S színcsatornákon
14-15	$S_{\text{STP}} \ln q$, B/V színcsatornákon
16-30	ugyanaz, mint 1-15, wavelet transzformáció LL
31-45	ugyanaz, mint 1-15, wavelet transzformáció LH
46-60	ugyanaz, mint 1-15, wavelet transzformáció HL
61-75	ugyanaz, mint 1-15, wavelet transzformáció HH
76-77	gradiens magnitúdójának átlaga és szórása, R/H színcsatorna
78-79	gradiens magnitúdójának átlaga és szórása, G/S színcsatorna
80-81	gradiens magnitúdójának átlaga és szórása, B/V színcsatorna
82-87	ugyanaz, mint 76-81, gradiens iránya
88-93	ugyanaz, mint 76-81, gradiens x komponense
94-99	ugyanaz, mint 76-81, gradiens y komponense

2.1. Átlag, szórás, medián

A kolonoszkópiás felvételeken elég sok csillogás, fényvisszaverődés található. A felvételek szintartománya meglehetősen keskeny, hiszen a vizsgálat egy tisztított bélben történik, melynek színe rózsaszín, és általában a polipok is rózsaszín színűek. Természetesen előfordul, hogy nem sikerül kellőképpen kitisztítani a bélszatórnát, illetve, hogy már későbbi stádiumú, azaz rosszindulatú polipokat

találunk benne. A bemeneti paraméterek meghatározásánál ezeket a környezeti tényezőket mind figyelembe kell vennünk. Bernal^[4] és munkatársai kutatásuk során a polipokat látószög alapján 3 különböző csoportba sorolták be: zenitális (zenithal), laterális (lateral) és a féloldali (semilateral). Zenitális esetben felülről látjuk a polipokat a bélfalban, nem mindig különböztethetőek meg egyértelműen, de van olyan eset, amikor mintázat alapján teljesen jól elkülöníthetőek. Laterális nézet esetén oldalnézetből látjuk a polipot, a bélfal a háttérben általában sokkal sötétebb színű. Semilaterális esetben pedig egy köztes féloldalas nézetről beszélünk, ekkor is kissé sötétebb színű a háttér, illetve gyakran a polip kontúrjai nem igazán láthatóak a bélfalnál. Az adatbázisokban szereplő felvételek fenti tulajdonságai alapján az átlagos pixelintenzitást, a szórást, a gradiensek átlagát, illetve a gradiensek szórását választottuk bemeneti paramétereknek, mert a polipjaink általában kiugróbbak, azaz a képeken világosabb színűek, mint maga a bélfal. Az élek esetében pedig a gradiensek minden esetben meglehetősen nagyok.

2.2. Élsűrűség

Azokon a felvételeken, ahol az élek jól láthatóak, mint például a zenitális és a laterális képek esetében, ritkábban pedig a semilaterális felvételeknél. A képek sok információt tartalmaznak a polipok elhelyezkedéséről. Az élsűrűség vizsgálatára első lépésként egy Canny-szűrő segítségével kiválasztjuk azokat a pixeleket, ahol hirtelen pixel intenzitásváltozás történik a képen. A képek simítása Gauss-szűrővel történik, majd pedig Sobel-szűrőt használunk. Ahhoz, hogy az élsűrűség mérhető legyen, kiszámoljuk a képszegmensben belüli fehér pixelek (élek) arányát is. Ha egy képszegmensben sok él található, mint pl. a bél falon látható erek, a polipnak a mintázata, esetleg bélredő, vagy maga a polip kontúrja, akkor ez az érték magas lesz. Amennyiben pedig egy képszegmens simábbnak mondható, akkor ez az érték egészen alacsony.

2.3. Rényi entrópia

A képfeldolgozásban az entrópiák hatékony eszköznek bizonyulnak.^[5] A leggyakrabban használt a Neumann^[6] és a Shannon,^[7] sok általánosítást fejlesztettek ki

[4] BERNAL, JORGE – SÁNCHEZ, FERNANDO – FERNÁNDEZ-ESPARRACH, GLORIA – GIL, DEBORA – RODRÍGUEZ, CRISTINA – VILARIÑO, FERNANDO: WM-DOVA maps for accurate polyp highlighting in colonoscopy: Validation vs. saliency maps from physicians, in: *Comput. Med. Imag. Graph.*, 2015/43., 99–111.

[5] NAGY SZILVIA – BRIGITA, SZIOVÁ – PIPEK JÁNOS: 'On Structural Entropy and Spatial Filling Factor Analysis of Colonoscopy Pictures', in: *Entropy*, 2019/21., 256–287.

[6] NEUMANN, JOHN VON: Thermodynamik quanten mechanischer Gesamtheiten. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, 1927, in: *Mathematisch-Physikalische Klasse*, 102., 273–291. o.

[7] SHANNON, CLAUDE ELWOOD: A mathematictheory of communication, in: *Bell Syst Tech J*, 1948/27., 379–423.

és használnak már napjainkban.^[8] Mi a Rényi-féle általánosítást használtuk kutatásunk során.

3. HESSE-SZŰRŐ

A Hesse-szűrőt^[9] alkalmazzák endoszkópos felvételeken is polip területek/régiók keresésére (domborúság és homorúság), de inkább fekete-fehér képeken szokás alkalmazni, így sokkal gyakoribb a használata CT, MRI felvételeken. Általában egy alul áteresztő szűrőt alkalmaznak és Gauss-féle simítást, hogy eltávolítsák a képről a különféle zajokat és textúrákat, miután átalakították a felvételeket RGB képekből szürkeárnyalatos képekké. Mivel 3 adatbázissal dolgozunk, ezért nagyon észrevehető, hogy vannak a szűrések után nagyon homályos, maszatos felvételek, hiszen vannak egészen alacsony felbontású képeink is.

$$H = \begin{bmatrix} L_{xx} & L_{xy} \\ L_{xy} & L_{yy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

L_{xy} – A bemeneti kép és a másodfokú derivált mátrixok konvolúciója.

$$I(x, y) = (\lambda_1(x, y)^2 + \lambda_2(x, y)^2) \left(1 - \frac{\lambda_1(x, y)^2}{\lambda_2(x, y)^2} \right) \quad (2)$$

Hesse-mátrix alaposabb vizsgálata után arra a megállapításra jutottunk, hogy ez előreláthatólag nem fogja javítani az osztályozásunk minőségét.

4. FUZZY HOUGH-TRANSZFORMÁCIÓ

A fuzzy Hough-transzformáció^[10] segítségével egyeneseket, köröket és egyéb alakzatokat szokás detektálni a képeken. Esetünkben a polipok kör, illetve ellipszis alakúak, tehát a kör egyenletéből indulunk ki.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (3)$$

A kör középpontját az (a,b) határozza meg, míg sugara az r. Ellipszisek esetén két főtengely van, amit figyelembe kell venni a transzformáció során. Első közelítésben a kör alakú transzformációt használtuk.^[11]

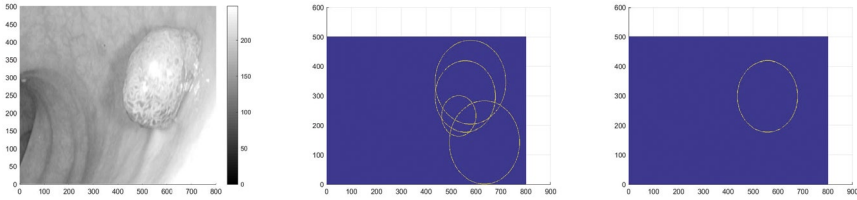
[8] RÉNYI, ALFRÉD: On measures of information and entropy, in: *Proceedings of the fourth Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability*, Berkeley, CA, USA, 20 June–30 July 1960, 547–561.; AMIGÓ, JOSÉ MARÍA – BALOGH, SÁMUEL GÁSPÁR – HERNÁNDEZ, SERGIO: A Brief Review of Generalized Entropies, in: *Entropy*, 2018/20., 813.

[9] IWAHORI, YUJI – HATTORI, AKIRA – ADACHI, YOSHINORI – BHUYAN, M. K. – WOODHAM, ROBERT J. – KASUGAI, KUNIO: Automatic Detection of Polyp Using Hessian Filter and HOG Features, in: *Procedia Computer Science*, 2015, Vol. 60., 730–739. ISSN 1877-0509.

[10] HAN, JOHN H. – KÓCZY, LÁSZLÓ T. – POSTON, TIMOTHY: Fuzzy Hough transform, in: *Pattern Recognition Lett.*, 1994., Vol. 15, 649–658.

[11] NAGY, SZILVIA – ISMAIL, RANEEM – SZIOVÁ, BRIGITA – KÓCZY T., LÁSZLÓ: On classical and fuzzy Hough transform in colonoscopy image processing (elküldve az IEEE Africon 2021 konferenciára).

1. ábra: Az első kép klasszikus és fuzzy Hough-transzformációja



5. A HISZTOGRAM ALAPÚ ANTECEDENS KÉSZÍTÉS EREDMÉNYEI

A kutatás során mindhárom adatbázist együttesen használtam. Első lépésként meghatároztam a csempe méreteit az adatbázisokra a képek méretéhez viszonyítva, ETIS-Larib adatbázis esetén 200x200, CVC Colon esetén 100x100, míg a CVC Clinic esetén 50x50. Tulajdonképpen minden második csempét használtam a tanításra, és a másik részt pedig a tesztelésre. A tesztkészlet 13733 darab polipokat nem tartalmazó képszegmensből állt és 4066 darab polipot tartalmazókból. Az összes 99 antecedenst használtam RGB és HSV színcsatornákon is a vizsgálatokra, majd igyekeztem folyamatosan csökkenteni az antecedensek számát. Újszerű eljárásként elkezdtük alkalmazni azt a szabálybázis készítő módszert, hogy a szabályok háromszög alakú tagsági függvényének 3 nevezetes pontját a mért adatok hisztogramjának legmagasabb pontjához illesztettük, illetve azokhoz a pontokhoz, ahol a hisztogram metszi a maximális magasságának az 1%-át, amint az a 2. ábrán is látható a lila és türkiz vonalakkal jelölve (a kék és a fekete volt az eredeti szabály).

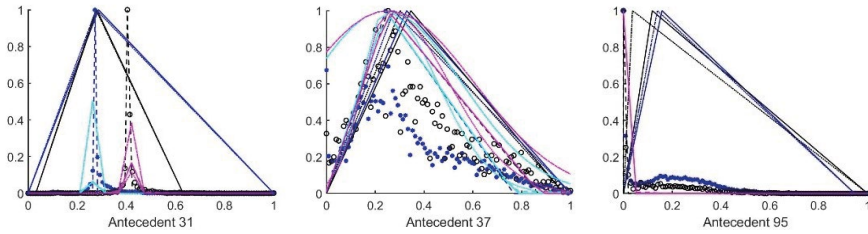
Ez minden esetben javulást hozott az eredményességben.

Mind a 99 antecedenst használata esetén nem igazán elfogadható eredményeket kaptam, gyakorlatilag mindent besorolt a polipot nem tartalmazó képekhez. A HSV színcsatorna, illetve az interpoláció használata sem javított rajta.

Mivel a strukturális entrópia és a térbeli kitöltési tényező ígéretesnek tűnik az osztályozás szempontjából,^[12] ezért úgy gondoltam megvizsgálom mennyire befolyásolják, így megnéztem milyen eredményt kapunk, ha csak ezeket használom, mint antecedenseket. RGB és HSV színcsatornán egyaránt vizsgálva, egészen 66%-os eredményt kapunk csak entrópia használattal. Ami azt jelenti, hogy ha kizárólag entrópiát használunk, sokkal jobb eredményt kapunk, mint ha mind a 99 antecedenst használtuk.

[12] NAGY, SZILVIA – SZIOVÁ, BRIGITA – PIPEK, JÁNOS: i. m.

2. ábra: Hisztogramhoz illesztett és korábbi (mean, medián) szabály tagsági függvények HSV színcsatorna 31., 37. és 95. antecedensei.



6. KONKLÚZIÓ

Kolonoszkópiás felvételeken fuzzy osztályozás, statisztikai paraméterek, élsűrűség, gradiens, szerkezeti entrópia, fuzzy Hough-transzformáció és Hesse-szűrő segítségével igyekeztem javaslatot tenni polip detektálásra.

A kutatás során minden képnek használtam az eredeti és a wavelettranszformáltjait egyaránt. Az osztályozás eredményességét leginkább az entrópiák befolyásolják, a kutatás során kiderült, hogy a gradiens elhagyásával nem romlik az osztályozás, illetve a H és S csatornák szórása is nyugodtan elhagyhatónak bizonyult.

A fenti módszer alternatívájaként megkíséreltünk fuzzyHough-transzformációt alkalmazni a polipok kontúrjának a megkeresésére. A fuzzy Hough-transzformáció az élfelismerés után képes megtalálni olyan részeit az élnek, melyek különböző parametrikus egyenleteknek felelnek meg, mint pl. a körök. Látható, hogy a fuzzy Hough-transzformáció eredményeképp kapott körök sokkal jobban illeszkednek a polipokra és sokkal kevesebben vannak, mint a klasszikus-Hough-transzformáció esetén.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- AMIGÓ, JOSÉ MARÍA – BALOGH, SÁMUEL GÁSPÁR – HERNÁNDEZ, SERGIO: A Brief Review of Generalized Entropies, in: *Entropy*, 2018/20., 813.
- BERNAL, JORGE – SÁNCHEZ, F. JAVIER – VILARINO, FERNANDO: 'Towards Automatic Polyp Detection with a Polyp Appearance Model', 2012, in: *Pattern Recognition*, Vol. 45, 3166–3182.
- BERNAL, JORGE ET AL.: 'Comparative Validation of Polyp Detection Methods in Video Colonoscopy: Results from the MICCAI 2015 Endoscopic Vision Challenge', in: *Transactionson Medical Imaging, IEEE*, 2017, Vol. 36., 1231–1249.
- BERNAL, JORGE – SÁNCHEZ, FERNANDO – FERNÁNDEZ-ESPARRACH, GLORIA – GIL, DEBORA – RODRÍGUEZ, CRISTINA – VILARIÑO, FERNANDO: WM-DOVA maps for accurate polyp highlighting in colonoscopy: Validation vs. saliency maps from physicians, in: *Comput. Med. Imag. Graph*, 2015/43., 99–111.

- BOSMAN, FRED T.: Chapter 5.5: Colorectal Cancer, 2014., in: Stewart, Bernard W. – Wild, Christopher P. (eds.): *World Cancer Report the International Agency for Research on Cancer, World Health Organization*. 392–402.
- HAN, JOHN H. – KÓCZY, LÁSZLÓ T. – POSTON, TIMOTHY: Fuzzy Hough transform, in: *Pattern Recognition Lett.*, 1994., Vol. 15., 649–658.
- IWAHORI, YUJI – HATTORI, AKIRA – ADACHI, YOSHINORI – BHUYAN, M. K. – WOODHAM, ROBERT J. – KASUGAI, KUNIO: Automatic Detection of Polyp Using Hessian Filter and HOG Features, in: *Procedia Computer Science*, 2015, Vol. 60, 730–739. ISSN 1877-0509.
- NAGY SZILVIA – BRIGITA, SZIOVÁ – PIPEK JÁNOS: 'On Structural Entropy and Spatial Filling Factor Analysis of Colonoscopy Pictures', in: *Entropy*, 2019/21., 256–287.
- NAGY, SZILVIA – ISMAIL, RANEEM – SZIOVÁ, BRIGITA – KÓCZY T., LÁSZLÓ: On classical and fuzzy Houghtransform in colonoscopy image processing (elkölvdve az IEEE Africon 2021 konferenciára).
- NEUMANN, JOHN VON: Thermodynamik quanten mechanischer Gesamtheiten. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaftenzu Göttingen, 1927, in: *Mathematisch-Physikalische Klasse*, 102., 273–291.
- RÉNYI, ALFRÉD: Onmeasures of information and entropy, in: *Proceedings of the fourth Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability*, Berkeley, CA, USA, 20 June–30 July 1960, 547–561.
- SHANNON, CLAUDE ELWOOD: A mathematictheory of communication, in: *Bell Syst Tech J*, 1948/27, 379–423.