BRIGITA SZIOVÁ[1]

Orvosi képek fuzzy osztályozása waveletek és entrópia segítségével

1. BEVEZETÉS

Mivel a vastagbélrák egy olyan ráktípus, amely nagyszámú embert érint, az átfogó szűrés kívánatos, főleg 50 éves kor felett. Az orvosi képfeldolgozás segítséget nyújthat az orvosi személyzetnek sokféle diagnózisban. Az emberek által végzett diagnózis nem lesz automatizálva, csak képzett orvosi segítséget lehet nyújtani a képzett orvosoknak, ezért is hívjuk ezeket a módszereket CAD-computer aided diagnosisnak. Wavelet elemzett képek esetén ugyanazokat a paramétereket alkalmaztuk, mint az eredeti kép esetében (átlag, STD, élszélesség, S_{str}, $\ln q$) mindhárom színcsatornához.

Egy kolonoszkópos vizsgálat során a bél megfelelő tisztítása után egy mozgatható, flexibilis endoszkópot vezetnek a végbélnyíláson keresztül a bélbe.

A kolorektális polipok lehetnek a bélfalba besüllyedő, lapos, kiemelkedő, a bélbe betüremkedő és nyeles polipok is.

A Bernal[2] és munkatársa polip detektálási módot fejlesztett ki kiválasztott kolonoszkópiás képeken a polipok általános alakja és megvilágítása alapján. El is indítottak egy felhívást polipok felismerésére, a MICCAI challenge keretein belül a képszegmentáció és a polipérzékelés[3] céllal. Ez 8 módszer összehasonlítását eredményezte, a teljesen gépi tanulástól a teljesen kézzel készített algoritmusokig, sokféle hibriddel. Az adatbázisok 380, 195 és 612 képből állnak, méretük 574x500, 1225x966, 384x288 képpont, felbontás 72, 72 és 96 dpi, és 24 bites RGB színfelbontás. Az első adatbázis alacsony szintű tömörítést használ, a többi kép tömörítetlen. Minden kép maszkkal is rendelkezik, amely a polipok pozícióját adja meg a képen. Korábbi tanulmányainkban azt találtuk, hogy az ETIS[4]

---

[1] SZE Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola, doktorjelölt. Témavezető: Dr. Nagy Szilvia, egyetemi docens, SZE Gépészmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar, Távközlési Tanszék.

[2] Bernal, J. – Sanchez, F. J. – Vilarino, F.: Towards Automatic Polyp Detection with a Polyp Appearance Model, in *Pattern Recognition,* 2012, Vol. 45., pp. 3166–3182.

[3] Bernal, J. et al.: Comparative Validation of Polyp Detection Methods in Video Colonoscopy: Results from the MICCAI 2015 Endoscopic Vision Challenge, in *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2017, Vol. 36., pp. 1231–1249.

[4] Silva, J. S. – Histace, A. – Romain, O. – Dray, X. – Granado, B.: Towards embedded detection of polyps in WCE images for early diagnosis of colorectal cancer, in *International Journal Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2014, Vol. 9, pp. 283–293.

adatbázisnak vannak a legnagyobb méretű, legkevésbé homályos képei a legkisebb képfeldolgozási műtermékekkel.

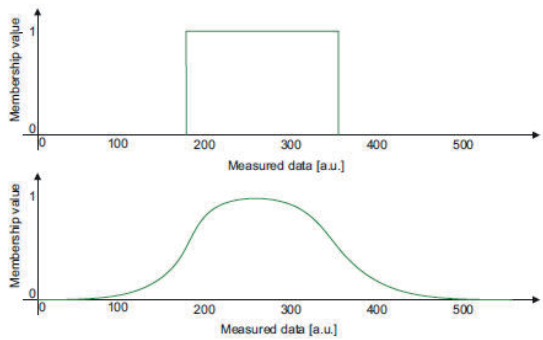
A felhívásra[5] összegyűjtött kép- és maszk adatbázissal elkezdtünk olyan polip-detektálási sémát kidolgozni, amely gyorsan kiszámítható képparamétereken alapul, és később felhasználható további besorolás alapjául. A módszer első lépéseként a képet csempékre vágjuk, majd kiválasztjuk a tanító halmazt. Az osztályozási séma fuzzy következtetést használ két kimenettel – van polip, vagy nincs polip a kép adott szegmensében – és több bemenettel. A program eredményeként a képnek egy olyan, durva skálájú részét kapjuk, ahol a polip jelen lehet. Ennek a területnek a megjelenítése figyelmeztetésként szolgálhat az orvosi szakértő számára, hogy valószínűleg van valami a területen belül, vagy alapul szolgálhat egy finomabb, pontosabb polip-kontúr meghatározás, pl. aktív kontúr módszer számára.

2. FUZZY OSZTÁLYOZÁS

A halmaz elméletben L. A. Zadeh 1965-ben új koncepcióval állt elő. Ötlete szerint[6] egy elem nemcsak teljes mértékben lehet eleme egy halmaznak, vagy teljesen nem eleme annak, hanem e két szélsőség között végtelen sok lehetőség áll rendelkezésre. Ez a koncepció szorosan kapcsolódik az emberi gondolkodásmódhoz, mivel például a meleg vagy hideg tea, vagy a kicsi, közepes vagy nagy kutyafajta között folytonos átmenet van. A Zadeh fuzzy halmazai nem csak a 0 vagy 1 tagsági értékeket teszik lehetővé (mint a hagyományos, crisp halmazok) esetén, hanem a [0,1] egységnyi intervallum bármely értékét. A mért értéknek egy fuzzy halmazban lehet valamekkora tagsági szintje.

Egy x mért érték függvényében a tagsági értékeket fel lehet venni, ez az adott változó tagsági függvénye, melyet μ (x)-szel szoktak jelölni, amint az alábbi ábrán látható.

1. ábra: Crisp és fuzzy tagsági függvény egy mért fizikai változóra.



[5] Bernal, J. et al.: i. m.
[6] Zadeh, L. A.: Fuzzy *sets, in Information and Control,* 1965, Vol. 8., pp. 338–353.

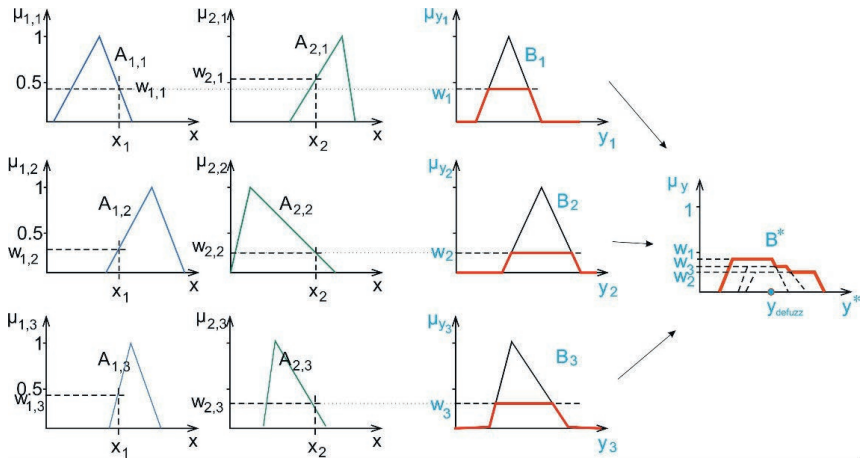
Egy adott μ (x)=α értéken el lehet vágni a μ(x) függvényt, az így kapott x-re vonatkozó halmaz a tagsági függvény α-vágata.

Zadeh az „ÉS" halmazműveletet a tagsági értékek közül a legalacsonyabb kiválasztásaként definiálta újra (ez a t-norma, a „VAGY" új definíciója pedig a tagsági értékek közül a maximális kiválasztása lett (s-norma vagy t-konorma).

A fuzzy tagsági függvények segítségével meglehetősen rugalmas vezérlőrendszereket lehet kialakítani. Mamdani munkájában[7] tett javaslatot a fuzzy vezérlés (és döntések) végrehajtásának egyik első számítástechnikailag eléggé hatékonykoncepciójára, amelyet a Zadeh által javasolt Compositional Rule of Inference módszerre alapozott.[8] Módszere több bemeneti változót használt, azaz antecedenseket. Mindegyik kimenetre, azaz konzekvensre, egy szabályrendszert határozott meg, amely az összes antecedens tagsági függvényéből áll. Az eredmény fuzzy halmaz az összes konzekvens halmaz s-normájaként áll elő. A rész konzekvens pedig az adott kimenethez tartozó szabályok t-normájaként.

Az ilyen szabályok összességéből álló rendszert szabálybázisnak (rule base) nevezik.

2. ábra: Mamdani-féle fuzzy következtető rendszere kétdimenziós antecedens és két konzekvens esetére

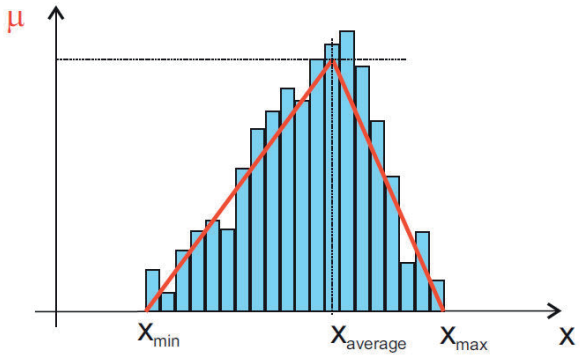


Az x_i antecedens tagsági függvénye, azaz a j-edik konzekvenshez tartozó szabálya $A_{i,j}$, a j-edik konzekvensé pedig B_{y_j} A végső konzekvens halmaz a B*, melynek defuzzyfikálása esetén kapjuk az y_{defuzz} eredményt. Tetszőleges egységeket használtam.

[7] Mamdani, E. H. – Assilian, S.: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, in *International Journal of Man-Machine Studies,* 1975, Vol. 7., pp. 1–13.

[8] Zadeh, L. A.: Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, in *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,* 1973, Vol. SMC-3., pp. 28–44.

3. ábra: Egyszerű háromszög alakú szabálykészítési eljárás

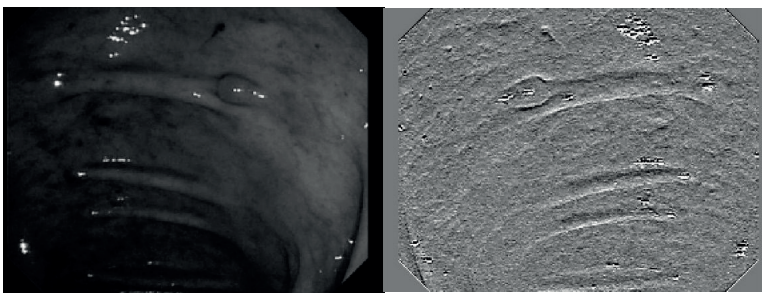


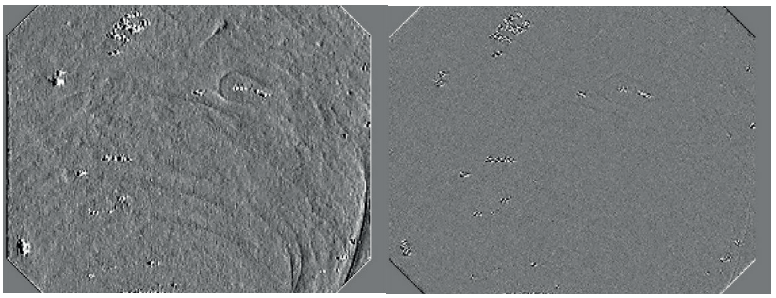
A tanító halmazban mért értékek minimumát, maximumát és átlagát használja a háromszög alakú tagsági függvény elkészítésére. Tetszőleges egységek. Mi is az egyszerű háromszög alakú szabálykészítési eljárás alapján dolgoztunk.

3. ORVOSI KÉP OSZTÁLYOZÓ MÓDSZER

Fuzzy osztályozó rendszert használtunk az endoszkópikus felvételeken a polipok megkeresésére. Az osztályozásnak kettő kimenetele volt – van polip, vagy nincs polip az adott képszegmensbe. A bemeneti (antecedens) változókat pedig a kép statisztikai paramétereiből, mint átlag, szórás és élsűrűség állítottuk össze. Az élsűrűség esetén Canny-szűrő segítségével kiválogattuk azokat a pixeleket, ahol éles váltás van.

4. ábra: Egy endoszkópos felvétel és annak wavelet-transzformáltjai





Az entrópia definícióját Rényi Alfréd[9] általánosította. Pipek és Varga[10] munkásságából kiderült, hogy a Rényi entrópiák különbségei, az általuk szerkezeti entrópiának nevezett mennyiségek:

$$S_2 - S_0 \rightarrow \ln q$$
$$S_1 - S_0 \rightarrow S_{str}$$

alkalmasak arra, hogy leírják egy eloszlás alakját. Ezt a két paramétert is használtuk bemeneti dimenzióként.

Az osztályozó rendszer ha csak az eredeti képnek ezeket a paramétereit használtuk csak bizonyos képek esetén működött elfogadható hatékonysággal, ezért bemeneti dimenziószám növelése érdekében, azaz hogy új információt vigyünk a döntési mechanizmusba, a kép wavelet transzformáltjait is felhasználtuk. Wavelet elemzett képek esetén ugyanazokat a paramétereket alkalmaztuk, mint az eredeti kép esetében (átlag, STD, élszélesség, S_{str},) mindhárom színcsatornához.

Nem volt elég e sok bemeneti dimenzió, hanem úgy gondoltuk témavezetőmmel, hogy a Hough-transzformáció és annak fuzzy verziójának segítségével szükséges lenne körcikkek keresése az endoszkópikus felvételeken, ugyanis a polipokat legtöbb esetben körök vagy ellipszisek határolják. Ennek a kutatásnak az első lépéseként azonban az egyszerűbb, egyenesek keresésére szolgáló Hough-transzformációnak a fuzzy verzióját implementáltam, melyet mikrogeometriai felület elemzésére fel is használtam. Ennek eredményeit mutatom be a következő fejezetekben.

[9] Rényi, A.: On measures of information and entropy, in *Proceedings of the fourth Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability* 1960, pp. 547–561.

[10] Varga, I. – Pipek, J.: Rényi entropies characterizing the shape and the extension of the phase space representation of quantum wave functions in disordered systems, in *Physical review E,* 2003, p. 68.

4. FUZZY HOUGH TRANSZFORMÁCIÓ ALKALMAZÁSA A HÓNOLT MIKROGEOMETRIKUS FELÜLETEK AZONOSÍTÁSÁNÁL

A mikrogeometriai felületek osztályozására általában a tribológia és a gépészet területén van szükség. Ezen mikrogeometrikus felületek kopását pedig statisztikai paraméterek segítségével jellemzik a leggyakrabban.[11] Tudjuk, hogy kedvezőbb, ha a kopás előtti és utáni felületek közvetlenül összehasonlíthatók, de a felület egy részének mikrométerre vagy nagyobb pontosságra való elemzése nem könnyű feladat a hagyományos mikrogeometriai felületi szkennerek számára. Ennek többféle oka is van. Elsősorban a kopási folyamat során a mintát ki kell venni a mérőberendezésből, majd cserélni azt. Gyakran előfordul, hogy a mérés helyét meghatározó referenciapontok is elhasználódnak, vagy egy távolabbi helyre kell őket helyezni, ezáltal azonban a helymeghatározás már kevésbé lesz pontos. Másodsorban pedig a felszíni szkenner többnyire nem tudja közvetlenül mérni a kopásnak leginkább kitett felületrészeket, így közvetlen mérés nem lehetséges. Emiatt lenyomatok használata szükséges, és a lenyomatok nemcsak a felület komplementerét adják, hanem általában enyhe torzulásokat, például buborékokat, szennyeződéseket stb. is tartalmaznak.

Ahhoz, hogy a két beolvasás azonos felületi szegmensen legyen, pontosabb mérési beállítások alkalmazására lenne szükség, ami azonban nem mindig lehetséges, viszont a két felületszegmens egymáshoz illesztése többnyire elérhető. Mindkét módszer igényes számítási kapacitás és idő szempontjából egyaránt.

Vannak azonban olyan mintatípusok, amelyek több vagy kevesebb automatikus referenciapontot biztosítanak a felületen, csak meg kell találni őket. Ilyen felületkezelés például a hónolás[12] is, amely még mindig széles körben használatos ahhoz, hogy elegendő helyet biztosítson a kenőanyagok és kopadékok számára a belsőégésű motorokban. Az új felületeknek hosszú, egyenes, egymást keresztező völgyei lesznek a hónolás után, a hornyok szélein pedig összegyűlik a megma-

---

[11] Dreyer, M. R. – Solecki, L.: Verschleissuntersuchungen an Zylinderlaufbahnen von Verbrennungsmotoren, in *3. Symposium Produktionstechnik – Innovativ und Interdisziplinär,* Zwickau, 6-7.04.2011., pp. 69–74., Gara, L. – Zou, Q. – Sangeorzan, B. – Barber, G. – McCormick, H. – Mekari, M.: Wear measurements of the cylinder liner of a single cylinder diesel engine using a replication method, in *Wear,* 2010, Vol. 268., pp. 558–564., Hu, Y. – Meng, X. – Xie, Y.: A computationally efficient mass-conservation-based, two-scale approach to modelling cylinder liner topography changes during runningin, in *Wear,* 2017, Vol. 386–387., pp. 139–156., Solecki, L. – Halbritter, E.: Macro and microgeometrical comparison of the surfaces of forming dies, in *Proceedings of the 13th International Conference on Tools,* 27th March 2012, pp. 245–250.

[12] do Vale, J. L. – da Silva, C. – Pintaúde, G.: Effect of graphite on folded metal occurrence in honed surfaces of grey and compacted cast irons, in *Surface Topography: Metrology and Properties,* 2017, Vol. 5., 035001., Lehmann, P. – Tereschenko, S. – Xie, W.: Fundamental aspects of resolution and precision in vertical scanning white-light interferometry, in *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2016, Vol. 4., 024004 1–10., Yousfi, M. – Mezghani, S. – Demirci, I. – Mansori, M. E.: Study on the relevance of some of the description methods for plateau-honed surfaces, in *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2014, Vol. 2., 014006.

radt anyagtörmelék, amelyet majd a bejáratódás, a mechanikai mozgás eltávolít. A keresztező hornyok közötti szög gyártóról gyártóra változhat, de mivel nem szabályos minta keletkezik, a vonalak és azok metszéspontja meghatározhatja azokat a natív referenciapontokat, amelyek a felületillesztés során egymáshoz illeszthetők.

Elsőként szükséges egy-egy jellemző vonal meghatározása a hornyokhoz, amelyeknek viszont pár mikron vagy néhány tíz mikron szélességűek, éleik szabálytalanok. Ezt a feladatot Hough-transzformációval lehet elvégezni, mivel az eredeti, legegyszerűbb Hough-transzformációt egyenes vonalaknak egy bináris képen való megtalálására fejlesztették ki. A munkám során összehasonlítottam a klasszikus Hough-transzformáció és egy fuzzy változat eredményeit annak megállapítása érdekében, hogy melyik alkalmazható jobban a korrekt keresztmetszeti referenciapontok meghatározásához egy hónolt felületen.

5. MÉRÉSEK

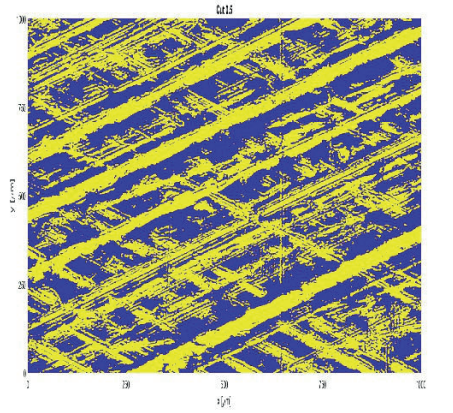
A méréseket egy 4-hengeres motor tesztpadon végzett 500 órás policiklusos változó terheléses tartóssági vizsgálatának keretében végezték. A koptatás előtt szilikon lenyomatokat vettek azokról a területekről a hengerfelületen, ahol az leginkább ki volt téve a kopásnak a henger teljes hossza mentén 2–2 cm szélességben. A motor futtatása után a lenyomatokat közel azonos helyzetben vették, és a motor azon részeit is kivágták és előkészítették a közvetlen mérésekhez.

A mérőberendezés – TalysurfCLI2000 szkenner – tűs és optikai (Chromatic Length Aberration (CLA)) érzékelővel is rendelkezik. A lenyomatokat a Struers RepliSet F5-tel készítették szobahőmérsékleten és nyomáson. A lenyomatokon az optikai szkennerrel végeztek letapogatásokat, az eredeti felületeken érintő tűvel.

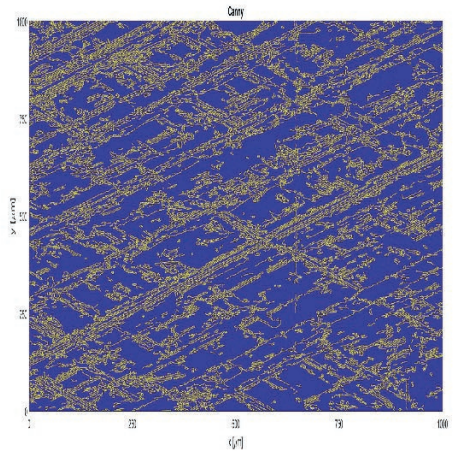
Munkám során referencia felületeknek a tűs letapogatást választottam, mivel ez kevésbé zajos, mint az optikai szkennerrel felvett képek.

A munkám célja nem a felületek összevetése volt, hanem olyan módszer kidolgozása, amely lehetővé teszi, hogy ugyanazokat a helyeket megtalálják a külső referenciapontok nélkül, csak a felszíni mintázatot használva. Két módszert alkalmaztam a kép fekete-fehér átalakítására, a Canny-szűrőt, amely érzékeli a kép éleit, és egy vágást, amely az összes átlagmagasság alatti pontot fehérré tesz.

5. ábra: Egy kopott henger felületének szkennelt Canny-szűrt, azaz csak éleket tartalmazó változata



6. ábra: Ugyanazon kopott henger felületének küszöböléssel fekete-fehérré átalakított verziója



6. HOUGH-TRANSZFORMÁCIÓ

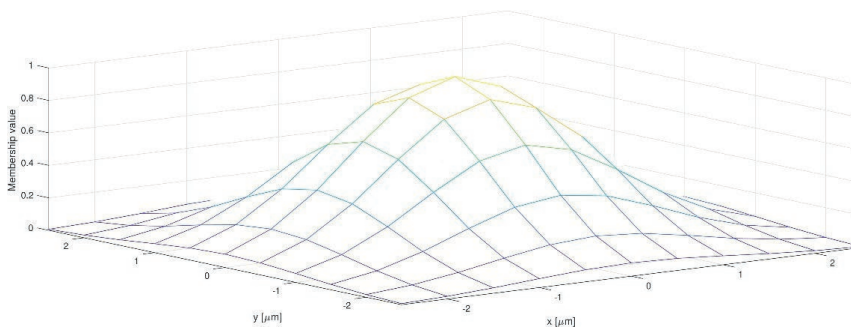
A Hough-transzformáció a különböző típusú görbék paraméteres egyenletét használja, egy fekete-fehér képet képez le a paraméterek terére. A leképezés a következő módon történik: a teljes paraméterterület szkennelésével azokat a paraméterkombinációkat keressük, ahol a kép fehér pontokkal rendelkezik, azaz értékük 1. Amennyiben egy paraméterkombináció sok szavazatot kap, akkor az ilyen paraméterekkel rendelkező görbe (vagy annak egy része) megtalálható a képen.

A Hough-transzformáció jelenlegi alkalmazásai főként egyenes vonalak, körök vagy ellipszisek. Esetünkben az egyenesek a paraméterezéssel

$$\rho = x \cdot cos(\theta) + y \cdot sin(\theta)$$

a hónolás egyenes hornyokat eredményez. A képletben az x és az y az eredeti kép pontjainak koordinátáit jelölik, míg a ρ és θ adja meg a keresett paramétert. A ρ a kép origójától való távolság, a θ pedig a vonal szöge. A szkennelni kívánt paraméterterület 0-tól a kép átlójának hosszáig terjed a ρ -ra, a szög esetén pedig -90° és +90° közötti.

7. ábra: Fuzzy Hough-transzformáció szavazó mátrix 5-ös sugárral



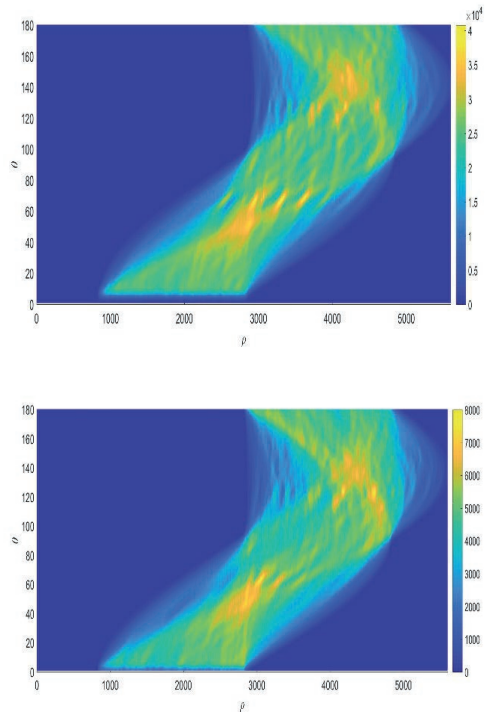
A fuzzy Hough-transzformáció[13] a klasszikus Hough-transzformációtól abban különbözik, hogy a pontok szavazatait fuzzyfikáljuk. Tehát ahelyett, hogy egy paraméterpár egy szavazattal rendelkezne, a paraméterpár pontja körüli terület kap szavazatot, fokozatosan csökkenő mértékben[14]. A Gauss-függvényeket 5 vagy 10 szélességgel alkalmaztuk a szavazási tagsági függvényekhez, ahogy azt a 3. ábra is mutatja.

[13] Han, S. W. – Cho, K. J. – Ihm, J.: Wavelets in all-electron density-functional calculations, in *Physical Review B,* 1999, Vol. 60, 1437–1440.
[14] Zadeh: i. m. (1965).

7. EREDMÉNYEK

Első lépésként mindkét típusú képen (vagyis a Canny-szűrt és a küszöbértékelt) fuzzy Hough-transzformációt hajtottam végre, ami a következő ábrán látható transzformált képeket eredményezi.

8. ábra: Az 5. és 6. ábrán látható képek fuzzy Hough-transzformáltja

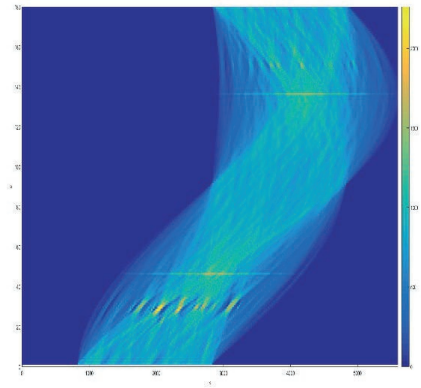


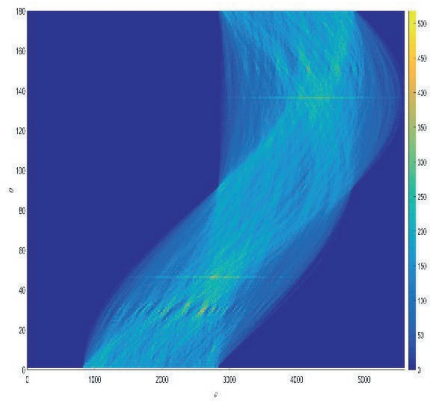
Az első kép a Canny-szűrt verzióhoz tartozik, a második a küszöbölt verzióhoz.

Látható, hogy a transzformált képek hasonlóak. Azonban a Canny-szűrt kép sokkal alacsonyabb szavazat értékekkel rendelkezik, mivel sokkal kevesebb világos (sárga) pont van benne, mint a vágott képen.

Összehasonlításképpen a klasszikus Hough-transzformáció eredményeit a következő ábrán láthatjuk.

9. ábra: Az 5. és 6. ábrán vizsgált kopott felület klasszikus Hough-transzformációja

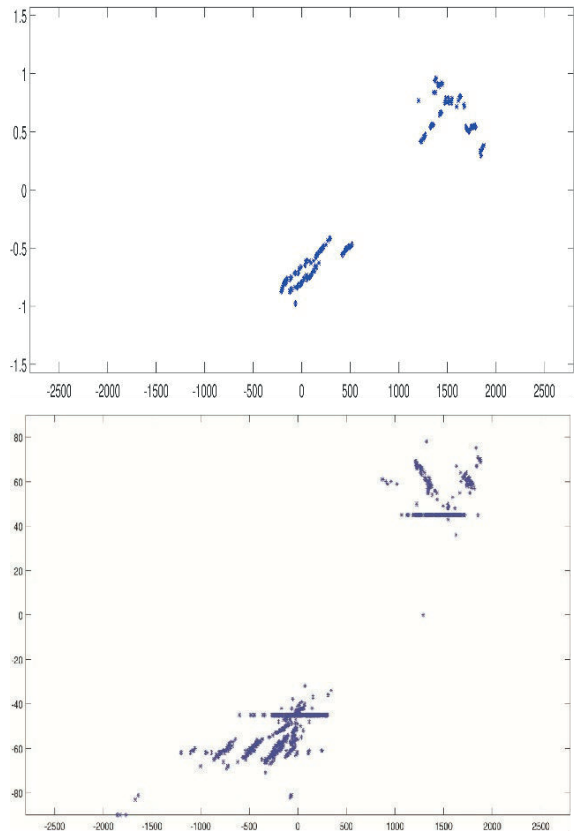




Az első kép a Canny-szűrt verzióhoz tartozik, a második a küszöbölt verzióhoz. Végezetül megkeressük a helyi maximumokat a transzformált képekben. A helyi maximumokhoz tartozó pontokra is megadtam egy küszöbértéket, szavazati számuknak a szavazatok maximális számának legalább 80%-át kellett képeznie. Nyilvánvaló, hogy a klasszikus Hough-transzformáció sokkal több lokális maximumot eredményez, mint a fuzzy, de csak néhány (kevesebb, mint 10) pont van, amely nagyobb értékkel rendelkezik, mint a globális szavazatmaximum 80%-a. Emiatt pedig úgy döntöttünk, hogy ilyen esetben a küszöböt 60%-ra csökkentjük, így pedig már nem csak néhány egyenest kapunk eredményképpen.

Az eredmények az alábbi ábrán láthatóak.

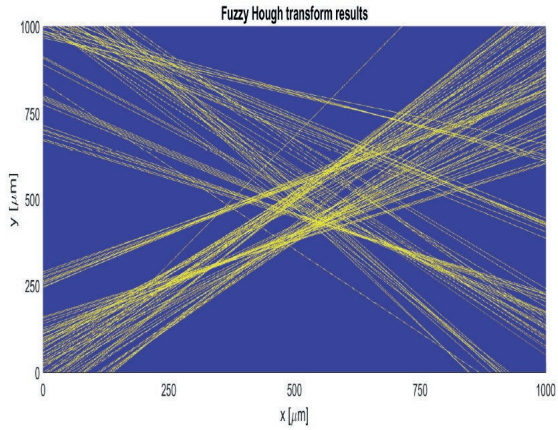
10. ábra: Az 5. és 6. ábrán látható kopott felületének a fuzzy és a klasszikus Hough-transzformáltjai

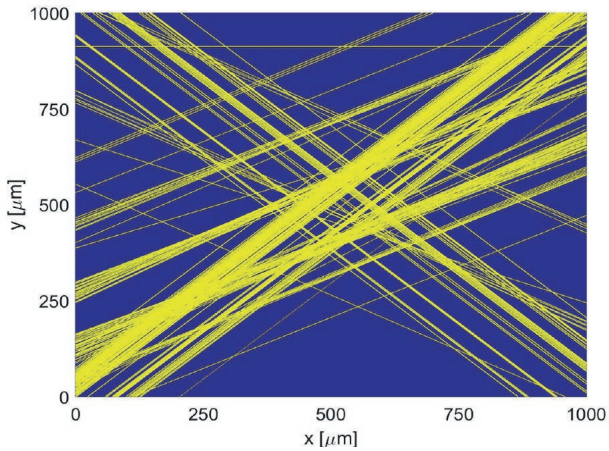


1. részábrán látható a fuzzy Hough-transzformáció 80%-os küszöbbel. 2. részábrán pedig a klasszikus Hough-transzformáció 60%-os küszöbbel látható. A vízszintes tengely a ρ , a függőleges pedig a θ paraméter. Canny-szűrt kép.

A klasszikus transzformáció lokális maximumai láthatóan két szög körül csoportosulnak, azonban a helyi maximumok nem olyanok, mint a fuzzy változat esetében. A fuzzy Hough-transzformáció esetén a lokális maximumok egy kicsit eltávolodnak a klasszikus helyi maximumoktól a θ szög (függőleges) irányában, viszont jobban csoportosulnak.

11. ábra: A kapott egyenesek: a visszatranszformált kép Canny-szűrt eredeti kép esetén





1. részábrán látható a fuzzy Hough-transzformáció 80%-os küszöbbel. 2. részábrán pedig a klasszikus Hough-transzformáció 60%-os küszöbbel látható.

A fuzzy Hough-transzformáció sok jellemző vonal azonosítására képes, ezt láthattuk is a 8. ábrán. Több sor átlagát adja meg, viszont a helyi maximumok kiválasztása egyelőre nem automatikus, a lényeges helyi maximumok kiválasztására egy kifinomultabb módszert kell találni annak érdekében, hogy a fuzzy Hough-transzformáció elég hatékony legyen ahhoz, hogy jellemzőpontokat találjon a megmunkált területek felszínén, illetve később az orvosi képeken.

8. KONKLÚZIÓ

Orvosi képek fuzzy osztályozási algoritmusát fejlesztettem ki statisztikai paraméterek, élsűrűség, gradiensek és szerkezeti entrópia felhasználásával. Mind az eredeti képet, mind pedig annak wavelet transzformáltjának használata mellett is szükséges új antecedensek bevezetése, melyre az egyik legjobb jelölt a körszegmenseket detektáló Hough transzformáció.

A fuzzy Hough-transzformáció hasonlóan a klasszikus Hough-transzformációhoz alkalmas egyenes vonalszakaszok detektálására a képen. Tudjuk, hogy a klasszikus Hough-transzformáció két vagy több egymástól elkülönülő vonalszakaszt észlel, ezzel szemben azonban a fuzzy Hough-transzformáció egyesítheti az ilyen vonalat egyetlen trendvonalba, ez a bizonytalan körvonalú polipok esetén nagyon előnyös lehet.

Első lépésként az egyszerűbb, egyenest detektáló klasszikus és fuzzy Hough-transzformációt használtunk egy hónolt felület binarizált változatához. A megtisztított felületen lévő hornyok nem képeznek pontos, egy pixelegységnyi széles vonalat, élük nem teljesen egyenes, így a fuzzy Hough-transzformáció az ideális eszköz azok felderítésére. A fuzzy Hough-transzformáció ugyanakkor olyan vonalakat is talál, amelyek nincsenek a hónolt hornyok irányában (hasonlóan a klasszikus Hough-transzformációhoz). Ez azt jelenti, hogy mielőtt a Hough-transzformációt olyan érzékeny célokra használnánk, mint referenciapontok felkutatása egy hónolt felületen, melyek segítségével két mérésből származó két felületet össze szeretnénk illeszteni, a lokális maximum kereső algoritmusát finomítani kell: az automatikus módszerünk, mely minden olyan helyi maximumot kiválaszt, amely egy adott küszöbérték felett van, túl sok szellemvonalat ad meg, és nem mindig érzékeli a valódi hónolási nyomokat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bernal, J. et al.: Comparative Validation of Polyp Detection Methods in Video Colonoscopy: Results from the MICCAI 2015 Endoscopic Vision Challenge, in *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2017, Vol. 36., pp. 1231–1249.
- Bernal, J. – Sanchez, F. J. – Vilarino, F.: Towards Automatic Polyp Detection with a Polyp Appearance Model, in *Pattern Recognition*, 2012, Vol. 45., pp. 3166–3182.
- Dreyer, M. R. – Solecki, L.: Verschleissuntersuchungen an Zylinderlaufbahnen von Verbrennungsmotoren, in *3. Symposium Produktionstechnik – Innovativ und Interdisziplinär*, Zwickau, 6-7.04.2011., pp. 69–74.
- Gara, L. – Zou, Q. – Sangeorzan, B. – Barber, G. – McCormick, H. – Mekari, M.: Wear measurements of the cylinder liner of a single cylinder diesel engine using a replication method, in *Wear*, 2010, Vol. 268., pp. 558–564.

▪ Han, S. W. – Cho, K. J. – Ihm, J.: Wavelets in all-electron density-functional calculations, in *Physical Review B*, 1999, Vol. 60, 1437–1440.
▪ Hu, Y. – Meng, X. – Xie, Y.: A computationally efficient mass-conservation-based, two-scale approach to modelling cylinder liner topography changes during runningin, in *Wear*, 2017, Vol. 386–387., pp. 139–156.
▪ Mamdani, E. H. – Assilian, S.: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, in *International Journal of Man-Machine Studies*, 1975, Vol. 7., pp. 1–13.
▪ Rényi, A.: On measures of information and entropy, in *Proceedings of the fourth Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability 1960*, pp. 547–561.
▪ Silva, J. S. – Histace, A. – Romain, O. – Dray, X. – Granado, B.: Towards embedded detection of polyps in WCE images for early diagnosis of colorectal cancer, in *International Journal Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2014, Vol. 9, pp. 283–293.
▪ Solecki, L. – Halbritter, E.: Macro and microgeometrical comparison of the surfaces of forming dies, in *Proceedings of the 13th International Conference on Tools,* 27th March 2012, pp. 245–250.
▪ Varga, I. – Pipek, J.: Rényi entropies characterizing the shape and the extension of the phase space representation of quantum wave functions in disordered systems*,* in *Physical review E*, 2003, p. 68.
▪ Zadeh, L. A.: Fuzzy sets, in *Information and Control*, 1965, Vol. 8., pp. 338–353.
▪ Zadeh, L. A.: Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, in *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1973, Vol. SMC-3., pp. 28–44.
▪ do Vale, J. L. – da Silva, C. – Pintaúde, G.: Effect of graphite on folded metal occurrence in honed surfaces of grey and compacted cast irons, in *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2017, Vol. 5., 035001.
▪ Lehmann, P. – Tereschenko, S. – Xie, W.: Fundamental aspects of resolution and precision in vertical scanning white-light interferometry, in *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2016, Vol. 4., 024004 1–10.
▪ Yousfi, M. – Mezghani, S. – Demirci, I. – Mansori, M. E.: Study on the relevance of some of the description methods for plateau-honed surfaces, in *Surface Topography: Metrology and Properties*, 2014, Vol. 2., 014006.