

Egyetemi doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Single and Multiple Object Detection Problems in Medical Image Analyses

Harangi Balázs

Témavezető: Dr. Hajdu András



DEBRECENI EGYETEM
INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
DEBRECEN, 2015

Contents

1	Introduction.....	1
2	Optic disc detection by fusing the outputs of individual detectors.....	4
3	Exudate detection framework	9
1	Bevezetés	13
2	Vakfolt detektálása egyedi algoritmusok kimeneteinek fuzionálásával.....	17
3	Exudátumok detektálására kidolgozott keretrendszer	22
	References	27
	List of publications.....	32

1 Introduction

In this PhD dissertation two methods, which have been elaborated to meet the demands arising from practical application, will be introduced in connection with the automatic detection of one or several objects in digital images. An automated diabetic retinopathy (DR) screening system has to be capable of detecting automatically the abnormalities caused by DR and to localize the anatomical parts of the retina in fundus image. Thus, the localization of the optic disc (OD) and detecting the signs of DR in the images taken of the fundus can be made feasible by integrating the elaborated methods into a DR screening system.

In this thesis first, a complex method elaborated for locating a single object which appears in a digital image will be introduced. As an individual detector may be wrong when it localizes the object, we study and adapt some of the state-of-the-art OD detectors and finally organize them into an ensemble framework in order to combine their strengths and maximize the accuracy of the localization of the OD.

The elaborated method is the result of multi-stage development process, during which two further approaches were developed based on different fusion techniques. These two approaches will be introduced in this dissertation as well. The applicability of the fusion method depends on the number of possible locations given by the individual algorithms. Thus, we distinguish the following cases:

- 1 algorithm – 1 candidate,
- 1 algorithm – several candidates,
- 1 algorithm – probability maps.

In the last case, the probability value assigned to the pixel indicates the certainty that the given pixel can be regarded as the center point of an object.

In the three cases mentioned above, the following approaches have been elaborated; majority voting-based complex system, a method based on search of maximum weighted clique in weighted graph and a method based on probability maps fused by the Bayesian model, respectively. In this dissertation, following the detailed introduction of the elaborated approaches, the connection between the quantity of the information deriving from the individual algorithms and the accuracy of the localization of the object will be demonstrated.

The method for the detection of objects appearing in image multiple times, which combines the mainstream approaches within a single framework, is proposed as the second main focus of this thesis. The elaboration of the algorithm is justified by a practical problem which is the detection of a certain type of signs called exudates, which come into being at the early stage of diabetic retinopathy and which are visible in the image taken of the retina.

The main contribution of this thesis applicable in medical science (including the corresponding publications as well) can be summarized as follows:

I. In connection with OD localization:

1. Elaboration and application of a simple majority voting model for the localization of the OD [1], [2], [3], [4].
2. Elaboration of a framework for extracting several candidates from member algorithms and the graph-based process of object detection for the localization of the OD [5].
3. Elaboration of the technique of object detection based on the fusion of 2D probability maps for the localization of the OD [6].

II. In connection with exudate detection:

4. Elaboration of an exudate-detector developed on the basis of grayscale morphology and pixel-classification [7].
5. Elaboration of an exudate-detector algorithm based on region-wise classification [8], [9] and [10].
6. Elaborating of a system applying some different image enhancement algorithms for achieving the most accurate contour detection. [11], [12].

2 Optic disc detection by fusing the outputs of individual detectors

The precise localization of the OD in the retina image is essential to detect signs caused by diabetic retinopathy as exudates have a similar physical appearance to the OD. The OD is a circular shaped, anatomical structure with a bright appearance as it has been already mentioned. Its location is to be found where the optic nerves enter the eye. If the position and the radius of the OD are detected correctly, then they can be used as references for approximating other anatomical parts. In the relevant literature there are several methods to localize the OD, such as [13], [14], [15], [16], [17], and [18]. However, these algorithms discussed in the literature are not precise enough, which means that they are not capable of finding the correct location of the OD in each case.

There is, in fact, no reason to assume that any single algorithm would be optimal for the detection of various anatomical parts of the retina. The novelty of our approach is the development of an ensemble framework built of already existing algorithms taking into consideration the quantity of the information gained from detector algorithms.

1 algorithm – 1 candidate

The individual algorithms published in article [13], [14], [15], [16], [17] and [18] localize the center point of the OD. Firstly,

we tried to make the process of the localization of the OD more precise by fusing these output center points.

Thesis 1. *We developed an ensemble method based on the simple majority voting of individual algorithms which provides a single candidate and with which the automatic localization of an object can be made more precise. We achieved demonstrable improvement in the precision of localizing the object by applying this method.*

Each of the algorithms in the relevant literature provides a possible OD center point. These single outputs for the object center are merged and the majority voting scheme is applied by using a template of the shape of the object to detect its correct location.

The accuracy of the ensemble method outperformed the accuracy of the individual algorithms, as it was capable of producing a proper result even in those cases when individual algorithms gave a wrong result. The results we had achieved were published in article [1] and as a component the method is introduced in article [2], [3] and [4]. The detailed description of the majority voting-based ensemble of the individual detectors can be read in the section 3.3 of the PhD thesis.

1 algorithm – several candidates

If we apply the same individual detectors as in the previous part and the majority voting-based ensemble of their first candidates do not belong to the region of the OD, we will lose

the opportunity to be able to detect precisely. Thus, we examined further solutions, so that the detection can be made more accurate. We let the members propose more than one candidate to increase the accuracy of that one of them which falls within the true region of the object. So, our aim to extract more candidates from the algorithms to have the appropriate location of the object among them.

We specified the rules relating to the number of the candidates, to their position correlating to each other and to the weighting of the candidates. So, we managed to make the individual algorithms to indicate several possible OD center points by the appropriate transformation of the individual algorithms and by complying with the requirements of the system of conditions.

Furthermore, in the case of putting up several candidates, we expected the individual algorithms to assign a confidence value to the coordinates of the candidates depending on the certainty that a specific candidate can be regarded as the center point of the object. By using all the extracted candidates and the confidence values assigned to them, we created a weighted set of points. Then, these weighted candidates are considered as vertices of a graph, where we are looking for a subgraph with a maximum sum of weights constrained also by the geometry of the single object.

Thesis 2. *We defined the rules for extracting more candidates, in which we specify the geometric conditions, the weighting of candidates and the maximum number of them. Moreover, we elaborated a system for the detection of single object by*

finding a complete sub-graph with maximum sum of weights of nodes.

By this method we made the localization of the OD more precise. The localization of the OD by selecting and fusing more candidates is published in article [5]. The detailed description of the maximum-weighted clique-based ensemble can be read in the section 3.4 of the PhD thesis.

1 algorithm – probability map

We examine further the possibilities to take advantage of all the information provided by the member algorithms about the location of the single object. So, we modified the individual algorithms involved in the ensemble system that those should be able to assign a confidence value to each pixel of the input image which expresses how probable it is that a given pixel is the center point of the object. As a result of this, each algorithm can produce a 2D probability map regarding the position of the single object. By the appropriate combination of these probability maps, the center point of the OD and its region can be defined.

Thesis 3. *We have provided a method to gain a probability map from the individual algorithms regarding the position of the object. Furthermore, we have demonstrated that the localization can be more precise by the appropriate combination of the probability maps. Moreover, there is an*

opportunity for the segmentation of the region of the object in this way.

So, we maximized the accuracy of the single object localization by the developed method. Regarding the practical application of the last method, the accuracy of the localization of the optic disc is close to 100 percent accuracy. We submitted the results for publication in article [6]. The detailed description of the probability map-based ensemble can be read in the section 3.5 of the PhD thesis.

3 Exudate detection framework

An automatized system developed for the screening of DR; besides the localization of the anatomic parts of the eye, such as OD, macula and vessels system, has got the basic task to detect the signs of DR as microaneurysms and exudates at an early stage. In the corresponding literature, several articles have been published [19], [20], [21], [22], [23], [24] in connection with the detection of exudates. Some of these are based on the function of the grey-scale morphology, while others are based on pixel-level classification for the segmentation of exudates.

We introduce a framework created for the detection of objects appearing in image multiple times (e.g., exudates). This framework involves two approaches which are commonly applied in the relevant literature. The developed methods are created to evaluate automatically whether the retina contains exudates and to segment the exudates with the highest precision.

The application of extracting candidates to decrease the computational time is well-known technique in use [17], [25]. Basic concepts of candidate extraction is to gain those pixels/regions by a simple and quick method, which contains the desired objects with high probability thus, techniques demanding more complex operations are applied exclusively on these extracted parts of the image. In this manner, the computational time is significantly decreased.

The proposed exudate detectors are basically similar in that respect that they use greyscale morphology-based algorithms as candidate extractor. Following this, a classifier algorithm decides whether these extracted candidates can be considered as true exudates or not.

The first approach applies an existing algorithm [19] based on greyscale morphology to gain all regions of the image about which it can be presumed with high confidence that those contain exudates. Then, by using the characteristics of the extracted pixels, a classifier makes a decision about each pixel whether those correspond to the pixels of the desired object. We collected all descriptors of the exudate at pixel-level for the classification and we selected those which were the most suitable for classification.

Thesis 4. *We have demonstrated that an exudate detector algorithm based on grey-scale morphology can be used as a candidate extractor. This algorithm extended by a post-processing step, which classifies the candidates at pixel-level as exudates or non-exudates, is based on their local features.*

The computational time is reduced through the application of the candidate extractor. On the basis of the evaluation, the precision of the proposed method outperforms the precision of the algorithms detecting exudates involved in the comparison. The details of the pixel-wise descriptors and the boosted classifier can be read in section 4.3.3.2 and 4.3.4 of the PhD thesis, respectively. The entire method is published in article [7].

Nevertheless, it has to be mentioned that the result image contained plenty of false positive pixels due to the fact that the evaluation is done at pixel-level. So, in the next approach, the extracted candidates are evaluated at region-level. Due to this, the algorithm assigns a label to the regions on the basis of descriptors at region-level. The features used for classification can be derived, amongst others, from the contours of the regions. Because of this, the accuracy of the classifier is influenced by the precision of the contour of the regions. We use an active contour-based algorithm in order to define the contour of the regions. For their automatic initialization, we took into consideration the regions which had been gained through candidate extraction.

Thesis 5. *We have demonstrated that the classification of the regions, which were extracted by the candidate extractor, can be made more precise through classification based on the features of the region. Furthermore, we have demonstrated that the classifying ability of the descriptors gained from the region can be increased by defining the contour of the region in a more precise manner.*

We examined the use of active contour algorithms and applied them for the first time in the literature in order to define the exact contour of the region for the detection of exudates. On the basis of the evaluation, the region-wise descriptors calculated from the precisely detected contour makes the classifying algorithm more precise. Furthermore, following the classification at pixel level, the problem of the

remaining pixels in the result image was solved as well. Article [8], [9] and [10] contain the results we achieved. The description of the applied active contour methods and the region-wise descriptors can be found in section 4.2.3 and 4.3.3.1 of the PhD thesis, respectively.

We developed a complex system, in which we fused the generally used image quality enhancement algorithms in order to increase the precision of the contour of the region defined by the active contour method. The examined pre-processors aim at emphasizing different features in the case of input images. We succeeded in defining the contour of the candidate regions in the most precise way through applying these algorithms jointly. Thus, the features describing the regions can be used with even higher precision when the classifying algorithms choose the real exudates from all the candidates.

Thesis 6. *We have developed a fusion-based system which can merge the positive effects of several pre-processors to the detection of objects. Thus, we made the exact definition of the nominated regions even more precise. We have demonstrated that the ability of the descriptors gained from the precise contour increased.*

We developed a method, which besides the automatic initialization of the applied active contour method, is capable of defining the contour of the regions in the most precise manner. We discuss the result that we achieved in article [11] and [12]. The details of the precise boundary detection for each candidate can be found in section 4.3.2 of PhD thesis.

1 Bevezetés

Ezen PhD disszertációban két módszert mutatunk be digitális képen történő objektum(ok) automatikus detektálásához kapcsolódóan. Ezen módszerek kidolgozását gyakorlati alkalmazás fejlesztése során felmerülő igények kapcsán dolgoztuk ki. Egy a cukorbetegség szemszövődményeit automatikusan szűrő rendszernek a betegség okozta szemszövődmények detektálásán kívül egyéb fontos funkcionalitásai is vannak, mint például a retina anatómiai képleteinek lokalizálása. Ezért a dolgozatban bemutatásra kerülő módszerek egy ilyen szűrő rendszer felállításához, mint szükséges és lehetséges alkotóelemek lettek kidolgozva. A módszerek egyrészt alkalmasak a szemfenék felvételeken a vakfolt helyének meghatározása, másrészt a kapcsolódó elváltozások jelenlétének detektálására.

A dolgozatban elsőként, általános terminológiát használva, egy egyszeres előfordulási valószínűséggel megjelenő, egyetlen objektum detektálására kidolgozott összetett módszer kerül bemutatásra. Mivel az egyszerű detektáló-algoritmusok hibázhatnak az objektum helyének meghatározása során, ezért megvizsgáljuk ezen algoritmusok adaptálhatóságát, és hogy milyen módszerek mentén szervezhetnénk őket össze egy összetett rendszerbe abból a célból, hogy kombináljuk azok erősségeit és maximáljuk a lokalizálás pontosságát.

A kidolgozott módszer egy több lépcsős fejlesztés eredménye, mely fejlesztés során további két, különböző fúziós alapokon nyugvó megközelítés is született, amelyek

bemutatása szintén a dolgozat részét képezik. A kidolgozott fúziós módszerek alkalmazhatósága függ attól, hogy az egyedi algoritmusok hány lehetséges középpontot jelölnek meg a működésük végeztével. Így tehát a következő esetek különböztetjük meg:

- 1 algoritmus – 1 jelöltet,
- 1 algoritmus – több jelölt,
- 1 algoritmus – valószínűségi mező.

Az utóbbi esetben a kép minden egyes pixeléhez rendelt valószínűségi érték azt fejezi ki, hogy az adott pixel mennyire biztosan tekinthető az objektum középpontjának.

A fenti esetekhez a felsorolásnak megfelelően a következő megközelítések kerültek kidolgozásra: egyszerű többségi szavazáson alapuló összetett módszer, súlyozott gráfban történő maximális súlyú részgráf keresésén alapuló módszer, illetve valószínűségi mezők Bayesian modell használatával történő fuzionálásán alapuló módszer. A dolgozatban a kidolgozott megközelítések részletes bemutatását követően láthatóvá válik, hogy milyen kapcsolat van az egyedi algoritmusokból kinyert információmennyiség és az objektum detektálásának a pontossága között.

A dolgozat másik fontos eredménye egy olyan összetett algoritmus megalkotása, amely magas pontossággal képes eldönteni egy adott bemeneti kép esetén, hogy olyan objektumok, amelynek előfordulása egy képen belül többszörös is lehet, szerepel-e a képen vagy sem. Amennyiben

az objektumok valóban megtalálhatók a felvételen, akkor az algoritmus kimenete a szegmentált objektumokat a lehető legprecízebb kontúrral szolgáltatja. Az algoritmus kidolgozását gyakorlati probléma indokolta, mégpedig a diabéteszes retinopátia korai stádiumában a retina felvételen megjelenő, úgynevezett exudátum típusú változások jelenlétének detektálása.

A disszertáció főbb eredményei (a kapcsolódó irodalmi publikációkat is hivatkozva) összegezve a következők:

I. A vakfolt lokalizálásához kapcsolódóan:

1. Egyszerű többségi szavazó modell kidolgozása és alkalmazása vakfolt lokalizálásához [1], [2], [3], [4].
2. Több jelölt állításához szükséges keretrendszer és arra épülően gráf alapú objektumdetektálás kidolgozása és alkalmazása vakfolt lokalizálásához [5].
3. 2D-s valószínűségi mezők kombinálásán alapuló objektum detektálásának kidolgozása és alkalmazása vakfolt lokalizálásához [6].

II. Exudátum detektálásához kapcsolódóan:

4. Szürkeskálás morfológián és pixel-szintű osztályozáson alapuló exudátum detektáló [7].
5. Régió-szintű osztályozáson alapuló exudátum detektáló algoritmus kidolgozása [8], [9], [10].
6. Egymástól eltérő elő-feldolgozókat alkalmazó rendszer kidolgozása a lehető legpontosabb kontúr detektálásához [11], [12].

2 Vakfolt detektálása egyedi algoritmusok kimeneteinek fuzionálásával

Retina felvételen a vakfolt helyének pontos meghatározása elengedhetetlen a diabéteszes retinopátia okozta elváltozások (exudátum) detektálásához mivel fizikai megjelenésük hasonló. A vakfolt, a szem anatómiai felépítéséből adódóan tekinthető egy egyszeri előfordulási valószínűséggel megjelenő összefüggő objektumnak, amelynek ismertek olyan fontosabb tulajdonságai, mint mérete, alakja és keressük a középpontjának 2D-s koordinátáit. Több irodalmi módszer ismert a vakfolt helyének detektálására, mint például a [13], [14], [15], [16], [17], és [18]. Ezek az irodalmi algoritmusok azonban önmagukban véve nem elég pontosak, vagyis nem képesek minden esetben megtalálni a vakfolt pontos helyét.

A további pontosítást nem feltétlenül egy új algoritmus kidolgozása, hanem a meglévők megfelelő módon történő kombinálása hozhatja. Megközelítésünk újszerűsége tehát a meglévő algoritmusok segítségével egy kombinált keretrendszer kidolgozásában van, figyelembe véve a detektáló algoritmusokból kinyert információ mennyiséget.

1 algoritmus – 1 jelölt

A [13], [14], [15], [16], [17] és [18] publikációkban közölt irodalmi detektáló algoritmusok eredetileg működésük végeztével visszaadják a vakfolt középpontját. Első

megközelítésben ezeknek a középpontoknak a fúziójával próbáltuk meg a vakfolt lokalizálásnak pontosságát növelni.

1. tézis. *Kidolgoztunk egy fúziós módszert, amely egyetlen jelöltet állító, egyedi algoritmusok egyszerű többségi szavazásán alapul, és amellyel egy objektum automatikusan történő detektálásának pontossága növelhető. A módszer alkalmazásával sikerült javulást elérni a detektálás pontosságában, vagyis olyan képeken is helyesen meghatározta meg az objektum helyzetét, amelyeken az egyedi algoritmusok korábban hibáztak.*

A kidolgozott fúziós módszerhez az irodalmi algoritmusok mindegyike szolgáltat egy-egy lehetséges középpontot. Ezt követően a keresett objektum fizikai tulajdonságainak ismeretében kiválasztásra kerülnek azok a régiók, amelyek több algoritmus által is valószínűsíthetően a vakfolt középpontját tartalmazzák.

A módszer pontossága felülmúlta az egyedi algoritmusok pontosságát, ugyanis együttesen tudtak helyes eredményt produkálni azokban az esetekben is, amikor egy-egy algoritmus egyébként helytelen eredményt adott. Az elért eredményeket a [1] cikkben publikáltuk, illetve komponensként megjelenik a módszer a [2], [3] és [4] cikkekben is. A módszer részletes bemutatása a disszertáció 3.3 fejezetében olvasható.

1 algoritmus – több jelölt

Amennyiben az összetett rendszerbe bevont detektáló algoritmusok első számú jelöltjei nem esnek többséggel a vakfolt tényleges régiójába, akkor elveszítjük a lehetőséget annak pontos detektálására. Ezért megvizsgáltunk további lehetséges megoldásokat a pontosság növelésének érdekében. Azzal a feltételezéssel élünk, hogy amikor egy detektáló első jelöltje nincs a keresett középponthez közel, akkor amennyiben engedjük neki, hogy több jelöltöt is állítson, már lesz olyan jelöltje, ami a kívánt régióba esik.

Megadtuk a jelöltek számosságára, egymáshoz viszonyított helyzetére és a jelöltek súlyozására vonatkozó szabályokat. Tehát az egyedi algoritmusok alkalmas átalakításával és a kidolgozott feltételrendszer betartásával sikerült elérni, hogy azok több, lehetséges vakfolt középpontot jelöljenek meg.

Továbbá több jelölt állítása esetén elvártuk az egyedi algoritmusoktól, hogy a jelöltek koordinátái mellé egy bizonyossági értéket is rendeljenek attól függően, hogy az adott jelölt mennyire biztosan tekinthető a keresett objektum középpontjának. Az összes algoritmus, minden jelöltjének és a hozzájuk rendelt bizonyossági értékeknek a felhasználásával egy súlyozott ponthalmaz állt elő. Amennyiben ezt a ponthalmazt egy súlyozott gráf csúcspontjainak tekintjük és csak azokat a csúcspontokat kötjük össze éllel, amelyek távolsága teljesíti a detektálandó objektum geometriai

feltételeit, akkor ennek a gráfnak a segítségével meghatározható a keresett objektum középpontja.

2. tézis. *Kidolgoztuk az egyedi algoritmusok által több jelölt állításához szükséges feltételrendszert, amelyben előírtuk az alkalmazandó geometriai feltételeket, definiáltuk a jelöltek súlyozását és a maximális jelöltszámot. Továbbá kidolgoztunk egy objektumlokalizáló módszert, amely egy súlyozott gráfban történő maximális súlyú teljes részgráf megtalálásával oldja meg a problémát.*

Ezzel a technikával tovább növeltük a vakfolt detektálásának pontosságát. A több jelölt kinyerésével és fűzőjával történő vakfolt detektálás publikálása az [5] cikkben került bemutatásra. A feltétel rendszer és a maximális súlyozott klikk keresésére visszavezetett módszer leírása a dolgozat 3.4 fejezetében található.

1 algoritmus – valószínűségi mező

Az eredményeket figyelembe véve, miszerint a kinyert információ mennyiségének növekedésével együtt növekedett a detektálás pontossága is, megvizsgáltuk, hogy milyen módon tudjuk kinyerni és felhasználni az egyes algoritmusokból a maximális információ mennyiséget. Tehát az összetett rendszerbe bevont egyedi algoritmusokat úgy módosítottuk, hogy azok a bementi kép minden egyes pixeléhez rendeljenek egy valószínűségi értéket, ami kifejezi azt, hogy mennyire valószínű, hogy az adott pixel a keresett objektum

középpontja. Ennek eredményeül, minden algoritmus előállít egy 2D-s valószínűségi mezőt a vakfolt helyzetére nézve. Ezeknek a valószínűségi mezőknek az alkalmas kombinációjával meghatározható a vakfolt középpontja és annak régiója is.

3. tézis. *Módszert adtunk arra, hogyan nyerhető ki egyedi detektáló algoritmusokból egy-egy valószínűségi mező az objektum helyzetére nézve. Illetve megmutattuk, hogy a kinyert valószínűségi mezők alkalmas kombinálásával tovább növekszik a detektálás pontossága és lehetőség nyílik az objektum régiójának a szegmentálásra is.*

A kidolgozott módszerrel a bevont detektáló algoritmusok által elérhető pontosságot maximalizáltuk. A módszer gyakorlati alkalmazását tekintve, a retina képen történő vakfolt helyének meghatározása megközelíti a 100%-os pontosságot. Az eredményeket a [6] cikkben nyújtottuk be közlésre. A valószínűségi mezők kombinálásán alapuló módszer részletes bemutatása a dolgozat 3.5 fejezetében olvasható.

3 Exudátumok detektálására kidolgozott keretrendszer

Egy diabéteszes retinopátia okozta szemszövődmények szűrésére fejlesztett automatizált rendszernek a szem anatómiai képleteinek (vakfolt, sárgafolt, érhálózat) lokalizálása mellett alapvető feladata a betegség korai szakaszában megjelenő elváltozások (mikroaneurizma, exudátum) detektálása is. A területtel foglalkozó irodalomban számos publikáció [19], [20], [21], [22], [23], [24] jelent meg az exudátumok detektálásával kapcsolatban. Ezek közül több működése szűrkeskálás morfológia alkalmazásán alapszik, míg mások pixel-szintű osztályozást használnak az exudátumok szegmentálásához.

Általában az exudátum a retináról készített felvételeken nem önmagában, egyetlen foltként jelenik meg, hanem egy adott területen, több helyen is kialakulhat. Ebben a szakaszban, egy képen akár többszörösen is megjelenő objektumok detektálására kifejlesztett módszereket mutatunk be, amelyek egyrészt ötvözik az imént említett két, általánosan használt megközelítést, másrészt kibővítik azokat.

Cukorbetegséghez kapcsolódó egyéb elváltozások detektálásánál már ismert és alkalmazott megoldás [24], [25] a számítási idő csökkentésére az úgy nevezett jelöltállító lépés alkalmazása. Jelöltállító lépés lényege, hogy egy egyszerű, gyorsan végrehajtható művelet használatával kinyerjék azokat a pixeleket/régiókat, amelyek nagy valószínűséggel tartalmazzák a keresett objektumokat, így a nagyobb

számításigényű műveletek csak az így kinyert területeken kerülnek kiértékelésre, ezzel jelentősen csökkentve a futási időt. Azok a detektáló algoritmusok, amelyeket kidolgoztunk, alapvetően megegyeznek abban, hogy a szürkeskálás morfológia eszközeit, használják jelöltállítóként. A jelölt pixelekről/régiókról ezt követően egy osztályozó algoritmus dönt, hogy azok valóban a keresett objektumokat tartalmazzák-e vagy sem.

Az első módszer egy létező, szürkeskálás morfológia alapú algoritmus [19] felhasználásával magas szenzitivitás mellett kinyeri a kép összes régióját, amely valószínűsíthetően a keresett objektumokat tartalmazza. Ezt követően a keresett objektum pixeleire jellemző tulajdonságok felhasználásával egy előzetesen betanított osztályozó algoritmus pixel szinten vizsgálja a kinyert régiókat és hoz döntést annak minden egyes pixeléről, hogy azok megfelelhetnek-e a keresett objektum pixeleinek. Az osztályozáshoz összegyűjtöttük pixel szinten valamennyi, az exudátumra jellemző tulajdonságot és kiválogattuk belőlük az osztályozáshoz használható legalkalmasabbakat.

4. tézis. *Megmutattuk, hogy létező, egyszerű szürkeskálás morfológián alapuló irodalmi exudátum detektáló algoritmus csupán jelöltállító lépésként használható, amely kiegészítve exudátum típusú elváltozásra jellemző lokális leíró tulajdonságok felhasználásával történő pixel-szintű osztályozással, az exudátum detektálásának pontossága javítható.*

A kidolgozott módszer használatával jelentősen csökkent a pixel-szintű kiértékelés futási ideje és a kiértékelés alapján a pontossága felülmúlta az összehasonlításba bevont exudátum detektáló algoritmusok pontosságát. A részletes leírás a kigyűjtött pixel-szintű leírókról és az osztályozást megvalósító algoritmusokról a dolgozat 4.3.3.2 és 4.3.4 fejezeteiben olvasható. A teljes algoritmus a [7] publikációban került közlésre.

Azonban a pixel-szintű kiértékelés következtében az eredménykép sok maradvány pixelt tartalmazott. Ezért a következő megközelítésben az osztályozó algoritmus már nem vizsgál meg minden egyes pixelt a jelölt állításból származó régiókon belül, hanem magukról a régiókról dönt. Ennek következtében már nem a keresett objektum egyes pontjainak tulajdonságait használja fel, hanem régió-szintű leírók alapján rendel címkét a vizsgált régióhoz. A régió-szintű osztályozáshoz használt leírók többek között a régiók kontúrjából származtathatók. Ezért az osztályba sorolás pontosságát nagymértékben befolyásolja a régió határvonala. A körvonal pontos meghatározásához aktív kontúr alapú algoritmust használtunk, amely automatikus inicializálásához a jelöltállító segítségével kinyert régiókat tekintettük.

5. tézis. *Megmutattuk, hogy a jelöltállító algoritmus által szolgáltatott régiók osztályba sorolásának pontossága tovább javítható régió alapú osztályozással. Továbbá megmutattuk, hogy a régióból kinyerhető leíró tulajdonságok osztályba soroló képessége növelhető a régió pontosabb kontúrjának meghatározásával.*

Ettől a ponttól kezdve megnőtt a jelölt régiók detektált kontúrjának a szerepe. A régió pontos határvonalának meghatározásához aktív kontúr alapú szegmentáló algoritmusokat vizsgáltunk meg és használtunk először az irodalomban exudátum detektálásához. Kiértékelések alapján a precízen meghatározott kontúrból számolt régió-szintű leírók pontosabb osztályozást tettek lehetővé az osztályozó algoritmus számára és a pixel-szintű osztályozást követően megjelenő maradvány pixel problémája nem jelentkezett többet az eredmény képen. Az elért eredményeket a [8], [9] és [10] publikációk tartalmazzák. A pontos leírását az alkalmazott aktív kontúr alapú módszereknek és a régió-szintű tulajdonságoknak a dolgozat 4.2.3 és a 4.3.3.1 fejezetei tartalmazzák.

Azért, hogy tovább növeljük az aktív kontúr által meghatározott régió körvonalának pontosságát, kidolgoztunk egy összetett rendszert, amelyben fuzionáltuk a retina képek feldolgozásánál általánosan használt képjavító algoritmusokat. A vizsgált előfeldolgozók egy bemeneti kép esetén más és más tulajdonság kiemelését célozzák meg. Ezen algoritmusok együttes felhasználásával sikerült a jelölt régiók kontúrját a lehető legprecízebben meghatározni és ezzel a régiókat leíró tulajdonságok még nagyobb megbízhatósággal használhatók arra, hogy az osztályozó algoritmusok kiválasszák a valós exudátumokat az összes jelölt közül.

6. tézis. *Kidolgoztunk egy fúziós módszert, amely képes több különböző előfeldolgozónak az objektumok detektálására nézve pozitív hatását egyesíteni, és ezzel tovább pontosítottuk*

a jelölt régiók kontúrjának precíz meghatározását. Megmutattuk, hogy az így kinyert precíz kontúrból származtatott leírók osztályba soroló képessége tovább növekedett.

Ezen eredmények felhasználásával kidolgoztunk egy módszert, amely az alkalmazott aktív kontúr algoritmus automatikus inicializálása mellett képes a jelölt régiók lehető legpontosabb körvonalának meghatározására is. Így sikerült elérni a legnagyobb pontosságot az exudátumok detektálására nézve. Az elért eredményekről [11] és [12] publikációkban számoltunk be. Az exudátumok lehető legpontosabb körvonalának meghatározására kidolgozott módszer pontos leírása a dolgozat 4.3.2 fejezetében található.

References

- [1] B. Harangi, R. J. Qureshi, A. Csutak, T. Peto, A. Hajdu, "Automatic Detection Of The Optic Disc Using Majority Voting In A Collection Of Optic Disc Detectors," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, pp. 1329-1332, 2010.
- [2] R. J. Qureshi, L. Kovacs, B. Nagy, B. Harangi, A. Hajdu, "Automatic detection of the fovea and optic disk in digital retinal images by combining algorithms," *Proceedings of the International Conference on Applied Informatics*, pp. 175-184, 2010.
- [3] L. Kovacs, B. Harangi, B. Nagy, A. Hajdu, R. J. Qureshi, "Gráf alapú vakfolt és sárgafolt detektálás retina felvételeken," *Proceedings of the Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos Konferenciája*, pp. 329-341, 2011.
- [4] R. J. Qureshi, L. Kovacs, B. Harangi, B. Nagy, T. Peto, A. Hajdu, "Combining algorithms for automatic detection of optic disc and macula in fundus images," *Journal of Computer Vision and Image Understanding*, vol. 116, no. 1, pp. 138-145, 2012, IF. 1.232.
- [5] B. Harangi, A. Hajdu, "Improving the accuracy of optic disc detection by finding maximal weighted clique of multiple candidates of individual detectors," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, pp. 602-605, 2012.

- [6] B. Harangi, A. Hajdu, "Detection of the optic disc in fundus images by combining probability models", *Computers in Biology and Medicine*, accepted.
- [7] B. Harangi, B. Antal, A. Hajdu, "Automatic Exudate Detection with Improved Naïve-Bayes Classifier," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Computer-Based Medical System*, pp. 1-4, 2012.
- [8] B. Harangi, I. Lazar, A. Hajdu, "Automatic Exudate Detection Using Active Contour Model and Regionwise Classification," *Proceedings of the IEEE Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 5951-5954, 2012.
- [9] B. Harangi, A. Hajdu, "Aktív kontúr használatával és régió alapú osztályozással pontosított exudátum detektáló algoritmus," *Proceedings of the Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos Konferenciája*, pp. 379-392, 2013.
- [10] B. Harangi, A. Hajdu, "Detection of Exudates in Fundus Images Using a Markovian Segmentation Model," *Proceedings of the IEEE Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 130-133, 2014.
- [11] B. Harangi, A. Hajdu, "Improving automatic exudate detection based on the fusion of the results of multiple active contours," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, pp. 45-48, 2013.
- [12] B. Harangi, A. Hajdu, "Automatic exudate detection by fusing multiple active contours and regionwise classification," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 54, pp. 156-171, 2014, IF. 1.475.

- [13] M. Lalonde, M. Beaulieu, L. Gagnon, “Fast and Robust Optic Disk Detection using Pyramidal Decomposition and Hausdorff-Based Template Matching”, *IEEE Transaction on Medical Imaging*, vol. 20, pp. 1193-1200, 2001.
- [14] A. Sopharak, K.T. New, Y.A. Moe, M.N. Dailey, B. Uyyanonvara, “Automatic Exudate Detection with a Naive Bayes Classifier”, *Proceedings of the Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology*, pp. 139–142, 2008.
- [15] M. Niemeijer, M. D. Abràmoff, B. van Ginneken, “Fast detection of the optic disc and fovea in color fundus photographs”, *Medical Image Analysis*, vol. 13, pp. 859–870, 2009.
- [16] A. Hoover and M. Goldbaum, “Locating the Optic Nerve in a Retinal Image using the Fuzzy Convergence of the Blood Vessels”, *IEEE Transaction on Medical Imaging*, vol. 22, pp 951-958, 2003.
- [17] S. Ravishankar, A. Jain, A. Mittal, “Automated Feature Extraction for Early Detection of Diabetic Retinopathy in Fundus Images”, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 210-217, 2009.
- [18] X. Zhu, R. M. Rangayyan. “Detection of the optic disc in images of the retina using the Hough transform.” *Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 3546-3549, 2008.
- [19] T. Walter, J. C. Klein, P. Massin and A. Erginay, “A contribution of image processing to the diagnosis of diabetic retinopathy – detection of exudates in color fundus images of

- the human retina”, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 21, no. 10, pp. 1236–43, 2002.
- [20] A. Sopharak, B. Uyyanonvara S. Barman and T. H. Williamson, “Automatic detection of diabetic retinopathy exudates from non-dilated retinal images using mathematical morphology methods”, *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 32, no. 8, pp. 720–727, 2008.
- [21] D. Welfer, J. Scharcanski and D. R. Marinho, “A coarse-to-fine strategy for automatically detecting exudates in color eye fundus images”, *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 34, no. 3, pp. 228–235, 2010.
- [22] A. Sopharak, B. Uyyanonvara and S. Barman, “Automatic exudate detection from nondilated diabetic retinopathy retinal images using fuzzy c-means clustering”, *Sensors*, vol. 9, no. 3, pp. 2148–2161, 2009.
- [23] A. Sopharak, M. N. Dailey, B. Uyyanonvara, S. Barman, T. Williamson, K. T. Nwe and Y. A. Moe, “Machine learning approach to automatic exudate detection in retinal images from diabetic patients”, *Journal of Modern Optics*, vol. 57, no. 2, pp. 124-135, 2010.
- [24] C. I. Sánchez, R. Hornero, M. I. López, M. Aboy, J. Poza and D. Abásolo, “A novel automatic image processing algorithm for detection of hard exudates based on retinal image analysis”, *Medical Engineering & Physics*, vol. 30, no. 3, pp. 350-357, 2008.
- [25] M. Niemeijer, B. van Ginneken, J. Staal, M. S. Suttorp-Schulten, M. D. Abràmoff, “Automatic detection of red lesions

in digital color fundus photographs”, *IEEE Transaction on Medical Imaging*, vol. 24, no. 5, pp. 584-592, 2005.

- [26] C. I. Sanchez, R. Hornero, A. Mayo, M. García, “Mixture model-based clustering and logistic regression for automatic detection of microaneurysms in retinal images”, *SPIE Medical Imaging 2009: Computer-Aided Diagnosis*, vol. 7260, p. 72601M, 2009.

List of publications

Journal papers

B. Harangi, A. Hajdu, "Detection of the optic disc in fundus images by combining probability models", *Computers in Biology and Medicine*, accepted.

B. Harangi, A. Hajdu, "Automatic exudate detection by fusing multiple active contours and regionwise classification," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 54, pp. 156-171, 2014, IF. 1.475.

R. J. Qureshi, L. Kovacs, B. Harangi, B. Nagy, T. Peto, A. Hajdu, "Combining algorithms for automatic detection of optic disc and macula in fundus images," *Journal of Computer Vision and Image Understanding*, vol. 116, no. 1, pp. 138-145, 2012, IF. 1.232.

Conference proceedings

B. Harangi, A. Hajdu, "Detection of Exudates in Fundus Images Using a Markovian Segmentation Model," *Proceedings of the IEE Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 130-133, 2014.

B. Harangi, A. Hajdu, "Improving automatic exudate detection based on the fusion of the results of multiple active contours," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, pp. 45-48, 2013.

B. Harangi, A. Hajdu, "Aktív kontúr használatával és régió alapú osztályozással pontosított exudátum detektáló algoritmus," *Proceedings of the Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos Konferenciája*, pp. 379-392, 2013.

B. Harangi, I. Lazar, A. Hajdu, "Automatic Exudate Detection Using Active Contour Model and Regionwise Classification," *Proceedings of the IEEE Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 5951-5954, 2012.

B. Harangi, B. Antal, A. Hajdu, "Automatic Exudate Detection with Improved Naïve-Bayes Classifier," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Computer-Based Medical System*, pp. 1-4, 2012.

B. Harangi, A. Hajdu, "Improving the accuracy of optic disc detection by finding maximal weighted clique of multiple candidates of individual detectors," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, pp. 602-605, 2012.

L. Kovacs, B. Harangi, B. Nagy, A. Hajdu, R. J. Qureshi, "Gráf alapú vakfolt és sárgafolt detektálás retina felvételeken," *Proceedings of the Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos Konferenciája*, pp. 329-341, 2011.

L. Kovacs, R. J. Qureshi, B. Nagy, B. Harangi, A. Hajdu, "Graph Based Detection of optic disc and fovea in retinal images", *Proceedings of International Workshop on Soft Computing Applications*, pp. 143-148, 2010.

R. J. Qureshi, L. Kovacs, B. Nagy, B. Harangi, A. Hajdu, "Automatic detection of the fovea and optic disk in digital retinal images by combining algorithms," *Proceedings of the International Conference on Applied Informatics*, pp. 175-184, 2010.

B. Harangi, R. J. Qureshi, A. Csutak, T. Peto, A. Hajdu, "Automatic Detection Of The Optic Disc Using Majority Voting In A Collection Of Optic Disc Detectors," *Proceedings of the IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, pp. 1329-1332, 2010.

Other conference proceedings (not part of thesis)

J. Toth, L. Kovacs, B. Harangi, Cs. Kiss, A. Mohacsi, Z. Orosz, A. Hajdu, “An Online Benchmark System for Image Processing Algorithms”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications*, pp. 377-382, 2014.

B. Harangi, B. Nagy, A. Hajdu, ‘Improving the detection of excessive activation of ciliaris muscle by clustering thermal images”, *Proceedings of the Conference of Quantitative InfraRed Thermography*, pp. 1-6, 2012.

B. Nagy, B. Harangi, B. Antal, A. Hajdu, “Ensemble-based exudate detection in color fundus images”, *Proceedings of the International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, pp. 700-703, 2011.

B. Harangi, T. Csordás, A. Hajdu, “Detecting the excessive activation of the ciliaris muscle on thermal images”, *Proceedings of the International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, pp. 329-331, 2011.

B. Harangi, T. Csordás, A. Hajdu, “Detecting the excessive activation of the ciliaris muscle on thermal images”, *Proceedings of the International Conference on Applied Informatics*, pp. 449-450, 2010.

Harangi B., Csordás T., Hajdu A., “A ciliaris izom túlzott működésének vizsgálata szomatoinfrával készített képeken”, *Proceedings of the Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társaságának Országos Konferenciája*, pp. 1-6, 2009.



Registry number: DEENK/130/2015.PL
Subject: Ph.D. List of Publications

Candidate: Balázs Harangi
Neptun ID: ZX3AWH
Doctoral School: Doctoral School of Informatics
MTMT ID: 10036210

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific article(s) in international journal(s) (2)

1. **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Automatic exudate detection by fusing multiple active contours and regionwise classification.
Comput. Biol. Med. 54, 156-171, 2014. ISSN: 0010-4825.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compbiomed.2014.09.001>
IF: 1.475 (2013)
2. Qureshi, R.J., Kovács, L., **Harangi, B.**, Nagy, B., Pető, T., Hajdu, A.: Combining algorithms for automatic detection of optic disc and macula in fundus images.
Comput. vis. image underst. 116 (1), 138-145, 2012. ISSN: 1077-3142.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2011.09.001>
IF: 1.232

Hungarian conference proceeding(s) (2)

3. **Harangi B.**, Hajdu A.: Aktív kontúr használatával és régió alapú osztályozással pontosított exudátum detektáló algoritmus.
In: Képfeldolgozók és Alakfelismerők országos 9. konferenciája : KÉPAF Konferencia kiadvány. Szerk.: Czúni László, Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társasága, Bakonybél, 379-392, 2013.





4. Kovács L., **Harangi B.**, Nagy B., Qureshi R.J., Hajdu A.: Gráf alapú vakfolt és sárgafolt detektálás retina felvételeken.
In: 8th Conference of the Hungarian Association for Image Processing and Pattern Recognition January 25-28, 2011 Szeged, Hungary : Proceedings of KÉPAF 2011. Szerk.: Zoltán Kató, Palágyi Kálmán, Erdőhelyi Balázs, Szegedi Egyetem, Szeged, 329-341, 2011.

Foreign language conference proceeding(s) (8)

5. **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Detection of Exudates in Fundus Images Using a Markovian Segmentation Model.
Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 36, 130-133, 2014. ISSN: 1557-170X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943546>
6. **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Improving automatic exudate detection based on the fusion of the results of multiple active contours.
Proc. IEEE Int. Symp. Biomed. Imaging. 1, 45-48, 2013. ISSN: 1945-7928.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ISBI.2013.6556408>
7. **Harangi, B.**, Antal, B., Hajdu, A.: Automatic Exudate Detection with Improved Naive-Bayes Classifier.
In: Proceedings of the 25th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical System [elektronikus dokumentum] Ed.: Paolo Soda, Francesco Tortorella, Sameer Antani, Mykola Pechenizkiy, Mario Cannataro, Alexey Tsymbal, IEEE, Piscataway, NJ, 1-4, 2012. ISBN: 9781467320498
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CBMS.2012.6266341>
8. **Harangi, B.**, Hajdu, A., Lázár, I.: Automatic Exudate Detection Using Active Contour Model and Regionwise Classification.
Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 1, 5951-5954, 2012. ISSN: 1557-170X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2012.6347349>
9. **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Improving the accuracy of optic disc detection by finding maximal weighted clique of multiple candidates of individual detectors.
Proc. IEEE Int. Symp. Biomed. Imaging. 9, 602-605, 2012. ISSN: 1945-7928.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ISBI.2012.6235620>





-
10. Qureshi, R.J., Kovács, L., Nagy, B., **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Automatic detection of the fovea and optic disk in digital retinal images by combining algorithms.
In: Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics. Ed.: Attila Egri-Nagy, Emőd Kovács, Gergely Kovásznai, Gábor Kusper, Tibor Tórnács, Eszterházy K. College, Eger, 175-184, 2011. ISBN: 9789639894723
11. **Harangi, B.**, Qureshi, R.J., Csutak, A., Pető, T., Hajdu, A.: Automatic Detection Of The Optic Disc Using Majority Voting In A Collection Of Optic Disc Detectors.
Proc. IEEE Int. Symp. Biomed. Imaging., 1329-1332, 2010. ISSN: 1945-7928.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ISBI.2010.5490242>
12. Kovács, L., Qureshi, R.J., Nagy, B., **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Graph Based Detection of Optic Disc and Fovea in Retinal Images.
In: Proceedings of IEEE 4th International Workshop on Soft Computing Applications, Arad-Romania. IEEE 4th International Workshop on Soft Computing Applications, Arad-Romania, 143-148, 2010. ISBN: 9781424479856
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SOFA.2010.5565610>





Nyilvántartási szám: DEENK/130/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Harangi Balázs
Neptun kód: ZX3AWH
Doktori Iskola: Informatikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10036210

A PhD értekezés alapján publikált közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (2)

1. **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Automatic exudate detection by fusing multiple active contours and regionwise classification.
Comput. Biol. Med. 54, 156-171, 2014. ISSN: 0010-4825.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.combiomed.2014.09.001>
IF:1.475 (2013)
2. Qureshi, R.J., Kovács, L., **Harangi, B.**, Nagy, B., Pető, T., Hajdu, A.: Combining algorithms for automatic detection of optic disc and macula in fundus images.
Comput. vis. image underst. 116 (1), 138-145, 2012. ISSN: 1077-3142.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2011.09.001>
IF:1.232

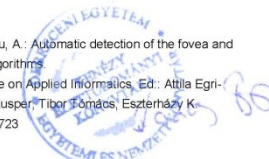
Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

3. **Harangi B.**, Hajdu A.: Aktív kontúr használatával és régió alapú osztályozással pontosított exudátum detektáló algoritmus.
In: Képfeldolgozók és Alakfelismerők országos 9. konferenciája : KÉPAF Konferencia kiadvány. Szerk.: Czúni László, Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társasága, Bakonybél, 379-392, 2013.
4. Kovács L., **Harangi B.**, Nagy B., Qureshi R.J., Hajdu A.: Gráf alapú vakfolt és sárgafolt detektálás retina felvételeken.
In: 8th Conference of the Hungarian Association for Image Processing and Pattern Recognition January 25-28, 2011 Szeged, Hungary ; Proceedings of KÉPAF 2011. Szerk.: Zoltán Kató, Palágyi Kálmán, Erdőhelyi Balázs, Szegedi Egyetem, Szeged, 329-341, 2011.



Időgen nyelvű konferencia közlemény(ek) (8)

5. **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Detection of Exudates in Fundus Images Using a Markovian Segmentation Model.
Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 36, 130-133, 2014. ISSN: 1557-170X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943546>
6. **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Improving automatic exudate detection based on the fusion of the results of multiple active contours.
Proc. IEEE Int. Symp. Biomed. Imaging. 1, 45-48, 2013. ISSN: 1945-7928.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ISBI.2013.6556408>
7. **Harangi, B.**, Antal, B., Hajdu, A.: Automatic Exudate Detection with Improved Naive-Bayes Classifier.
In: Proceedings of the 25th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical System [elektronikus dokumentum]. Ed.: Paolo Soda, Francesco Tortorella, Sameer Antani, Mykola Pechenizkiy, Mario Cannataro, Alexey Tsymbal, IEEE, Piscataway, NJ, 1-4, 2012. ISBN: 9781467320498
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CBMS.2012.6266341>
8. **Harangi, B.**, Hajdu, A., Lázár, I.: Automatic Exudate Detection Using Active Contour Model and Regionwise Classification.
Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 1, 5951-5954, 2012. ISSN: 1557-170X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/EMBC.2012.6347349>
9. **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Improving the accuracy of optic disc detection by finding maximal weighted clique of multiple candidates of individual detectors.
Proc. IEEE Int. Symp. Biomed. Imaging. 9, 602-605, 2012. ISSN: 1945-7928.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ISBI.2012.6235620>
10. Qureshi, R.J., Kovács, L., Nagy, B., **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Automatic detection of the fovea and optic disk in digital retinal images by combining algorithms.
In: Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics, Ed.: Attila Egri-Nagy, Ernő Kovács, Gergely Kovásznai, Gábor Kuspér, Tibor Tórnádó, Eszterházy K. College, Eger, 175-184, 2011. ISBN: 9789639894723





-
11. **Harangi, B.**, Qureshi, R.J., Csutak, A., Pető, T., Hajdu, A.: Automatic Detection Of The Optic Disc Using Majority Voting In A Collection Of Optic Disc Detectors.
Proc. IEEE Int. Symp. Biomed. Imaging., 1329-1332, 2010. ISSN: 1945-7928.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ISBI.2010.5490242>
12. Kovács, L., Qureshi, R.J., Nagy, B., **Harangi, B.**, Hajdu, A.: Graph Based Detection of Optic Disc and Fovea in Retinal Images.
In: Proceedings of IEEE 4th International Workshop on Soft Computing Applications, Arad-Romania. IEEE 4th International Workshop on Soft Computing Applications, Arad-Romania, 143-148, 2010. ISBN: 9781424479856
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SOFA.2010.5565610>

