

**Szegedi Tudományegyetem  
Informatika Doktori Iskola**

# **Képelemző módszerek orvosi kutatások és ipari alkalmazások támogatására**

Doktori értekezés tézisei

**Katona Melinda**

Témavezető:

**Dr. Nyúl László**



**Szeged  
2019**



# 1. Bevezetés

A képkalkoló technológia manapság magas fejlettségi szinten áll és a nagy mennyiségű képi adat feldolgozása számos képfeldolgozási és képelemzési problémát vet fel. Az értekezésben a képanalízis különféle problémáival foglalkozom az orvosi képkalkolás alapú diagnosztika, biológiai mikroszkópia és a vizuális kódok lokalizálása területén. Azokban az esetekben, amikor az objektum szerkezete jól definiálható, elvárható, hogy egy automatikus képelemző módszer elfogadható eredményeket adjon, mint például a vizuális kódok feldolgozására. Másrészt, az orvosi képek értelmezése bizonytalan lehet egyes esetekben még az szakemberek számára is, így itt csak segítséget kívánunk nyújtani az orvosok számára a diagnosztizálás során. A klasszikus képfeldolgozási megközelítések jól alkalmazhatók különféle detektálási és szegmentálási feladatokra és ezek nem követelik meg a nagy mennyiségű képi adatot, amely a munkánk során nem is volt elérhető. Mindemelllett, az elmúlt években elterjedt a mély neurális hálózatok használata a képfeldolgozásban is. Ezek általánosabb megoldásokat próbálnak biztosítani számos kutatási területen. Hátrányuk azonban, hogy a módszerek tanításához nagy mennyiségű címkézett adat szükséges. A disszertációban bemutatott módszerek klasszikus képfeldolgozási műveleteken alapulnak, de egy mély neurális hálózaton alapuló megközelítést is alkalmaztunk az egyik retinaelemzési feladat során.

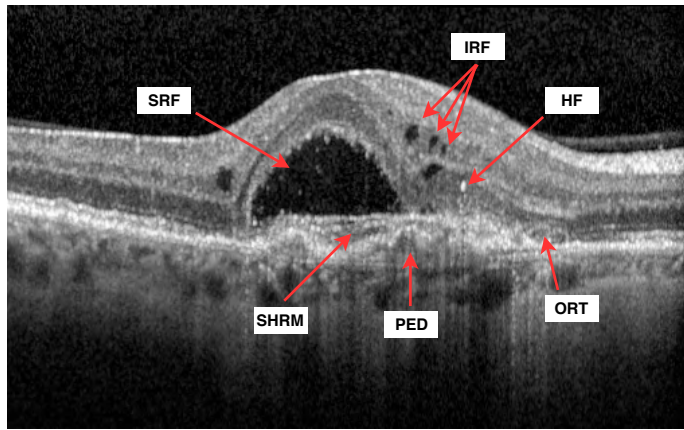
Az értekezés három főbb témát dolgoz fel: retina felvételek elemzése a 2. fejezetben, zebraalak embriók morfológiai elváltozásainak detektálása a 3. fejezetben, valamint vizuális kódok lokalizálása a 4. fejezetben.

## 2. Retina felvételek elemzése

Az emberi szem a látás páros érzékszerve, mely a környezeti objektumokról származó fénysugarak érzékelésére szolgál és leképezi azok alakját, térbeli helyzetét és színét. A belépő fénysugarak áthaladnak a szem üvegtestén és a retinára fókuszálódnak. A retina egy vékony szövet, mely több rétegből áll, beleértve a photoreceptorokat is. A retina kicsi középső részét makulának nevezzük. A retina ezen régiója felelős a központi éleslátásért. Különféle betegségek érinthetik a szemet, például az *időskori makuladegeneráció* (AMD). Számos képkalkoló technika áll rendelkezésre a retina vizsgálatához, az egyik modern eszköz az *optikai koherencia tomográfia* (OCT). Az AMD gyakori szembetegség az 50 év feletti emberek körében, jelenleg világszerte 170 millió embert érint. A meglévő OCT-k segítségével jól lekövethetőek a betegség okozta elváltozások. A mérhető biológiai jellemzőket biomarkereknek nevezzük. A kezelési eljárás javítása érdekében pontosabb mérésekre van szükség, ezért a célunk az volt, hogy automatikus módszereket hozunk létre a biomarkerek (1. ábra) kvantitatív értékeléséhez.

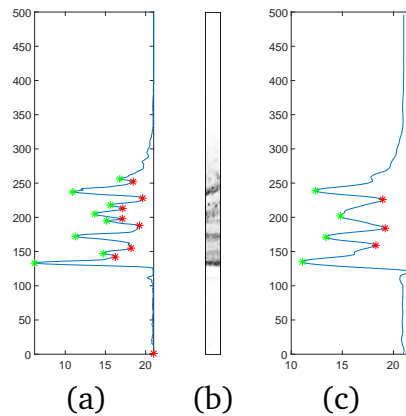
### 2.1. A retina külső határoló rétegeinek kiemelése

A retina rétegek helyének és vastagságának mérése hasznos információkat nyújt a kóros változások kimutatására és a különféle típusú retina betegségek diagnosztizálására. Két megközelítést javasoltunk a *belső határhártya* (ILM) és a *retina pigment epithel* (RPE) határoló rétegek meghatározására. Az OCT képek minősége általában gyenge, ezért gyak-



1. ábra. Különböző típusú biomarkerek AMD esetén. Szubretinális folyadék (SRF), intraretinális folyadék (IRF), hiperreflektív pont (HF), szubretinális hiperreflektív anyag (SHRM), pigment epithel leválás (PED), külső retinális tubuláció (ORT).

ran szükség van előfeldolgozásra a kontraszt javítása és az intenzitás szint normalizálása érdekében, így zajszűrést és kontrasztjavítást használunk egy fuzzy operátor segítségével [1]. A szűrt képen minden 10. oszlopban kiszámoljuk a projekciókat, melyek zajosak, ezért Savitzky-Golay szűrőt alkalmazunk, amely hatékonyan megőrzi a jel megfelelő magas frekvenciájú összetevőit. A 2. ábra egy példát mutat be. Minden szűrt függőleges profil esetében feltételezzük, hogy a nagy intenzitásbeli különbségek megfelelnek a szövet változásának.

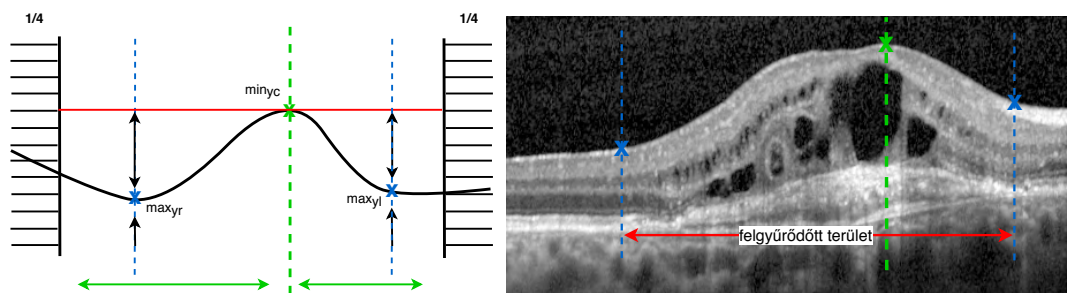


2. ábra. Számított vetület függőleges profil elemzéshez. (a) eredeti adat, (b) min-tavételezett oszlopok, (c) Savitzky-Golay szűrt adat (polinom fokszáma: 3, keret hossza: 25)

Olyan esetekben, amikor az AMD nagy rétegfelgyűrődést eredményez, akkor ez a megközelítés az RPE rétegek detektálásában gyengébb eredményeket mutat, ezért kidolgoztunk egy másik megközelítést. Gráf vágást alkalmazunk a k-means optimalizálására. A klaszterezett képen az előtér és háttér egyértelműen megkülönböztethető a retina azon részén, ahol az ILM réteg is található, így egy Otsu küszöbölést követően meghatározhatók a határpontok. Az előző módszerhez hasonlóan kiszámoljuk a projekciókat és az adatokból kiválasztjuk a lokális minimumot a réteghatár lokalizálásához.

## 2.2. A rétegfelgyűrődés vizsgálata

Az RPE sejtek diszfunkciója számos patológiás folyamathoz hozzájárul és a réteg leválhat a Bruch membrántól, a folyadék felhalmozódhat az RPE alatt és/vagy a retinában. Az egyértelműen meghatározott biomarkerek mellett az AMD esetében a torzulás mértéke, kezdő- és végpontja szintén hasznos leírók az orvosok számára a diagnózisban, ezért ennek mérésére javasoltunk egy megközelítést. A meghatározott ILM rétegpontok közül kiválasztjuk a legkisebb  $y$  koordinátával rendelkezőt és a képet a pont segítségével két részre osztjuk vertikálisan. A torzulás kezdő és végpontjának meghatározásához a jobb és bal oldali retina szegmensben lévő ILM pontokból meghatározzuk a legnagyobb  $y$  koordinátájúakat is. A minimális  $y$  pontra egy egyenest illesztünk, és megvizsgáljuk az ILM réteg pontjai és az egyenes távolságát. Ha ez a távolság kisebb, mint az általunk megadott küszöbérték, a réteget nem tekintjük torzultnak. A 3. ábra összefoglalja a megközelítésünket, amely a korábban meghatározott ILM rétegpontokat használja. Ezenkívül megadható egy lehetséges normál réteghatár, ha az RPE réteg pontjait is előzetesen körvonalazzuk.



3. ábra. A rétegfelgyűrődés meghatározásának sematikus ábrája.  $min_{yc}$  a legkisebb  $y$  koordinátát jelöli az ILM pontok közül. A rá illesztett egyenes (bal oldal, piros vonal).  $max_{yr}$  és  $max_{yl}$  a legnagyobb  $y$  koordináták a jobb, valamint bal oldali retina szegmensekben.

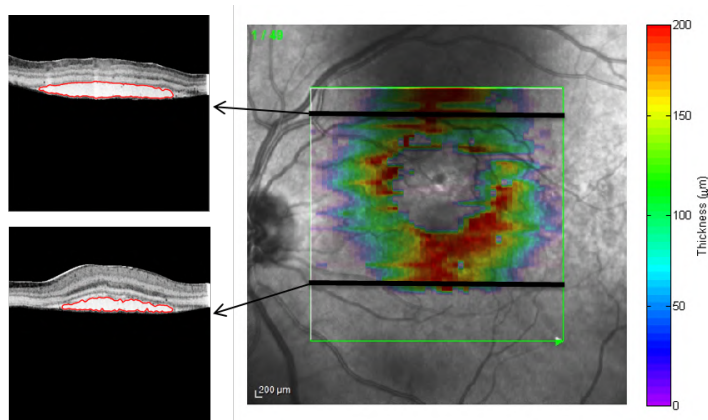
## 2.3. Szubretinális folyadék és ciszták detektálása

A szubretinális folyadék régiók foltokként, nagyobb vagy alacsonyabb intenzitással jelennek meg a képen a képalkotás módjától függően. A betegség régiói és a szem üvegtestének intenzitása közel azonos tartományban van, ha a torzításokat nem vesszük figyelembe. A megfigyelések azt mutatják, hogy az SRF régiók közel vannak az RPE réteghez és a torzult területhez. Az SRF objektum meghatározásához megvizsgáljuk a függőleges intenzitásprofilokat és a fenti feltételezések alapján megkeressük az RPE réteghez legközelebb eső lokális minimum helyét. Csak az ILM és az RPE pontok közötti profilt vesszük figyelembe. Az átlagos rétegvastagság és a vérerények információinak felhasználásával kiszűrhetjük azokat a vetületeket, amelyek kevésbé megbízhatók.

Az intraretinális és szubretinális folyadék reflektivitása hasonló, de utóbbi kisebb ovális objektum. Ezen előzetes információk felhasználásával olyan él-alapú aktív kontúron alapuló módszert dolgoztunk ki, amely egyidejűleg szegmentálja és különbözteti meg a folyadékterületeket. Az alkalmazott aktív kontúr eljárásához maszk szükséges, amelyet az eljárás korábbi lépéseiben hozunk létre. A biomarkerek elkülönítéséhez egy olyan feltételrendszert

használnuk, amely az objektumok alakjellemezőin és pozícióján alapul. Két szakirodalmi módszert újrainplementáltunk és az eredményeket összehasonlítottuk az általunk javasolt eljárással [19, 20].

Az automatikusan kiszámított kvantitatív jellemzők vizuálisan is megjeleníthetők. Míg a hagyományos, szeletenkénti megjelenítés esetén a szeletek önmagukban hordoznak információt, addig a színes átfedő ábrákon a folyadéktér vastagsága színekkel kódolva leolvasható az egyes anatómiai területeken. Ezek a megjelenítési technikák segíthetik a megfigyelőt az adatok értelmezésében. A 4. ábrán látható egy példa a szeletenkénti és a színkódolásos megjelenítésre.

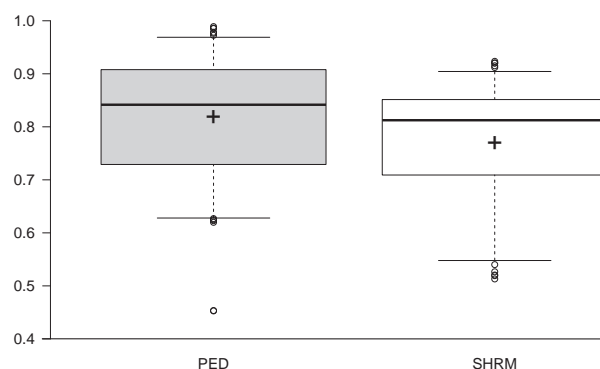


4. ábra. Színes képfúzió a szubretinális folyadék mennyiségi jellemzésére. Bal: a kék területek jelzik a szubretinális folyadékot az egyes szeleteken. Jobb: a folyadéktér vastagsága színkódolással megjelenítve az anatómiai kontextusban.

## 2.4. Pigment epithel leválás és szubretinális hiperreflektív anyag meghatározása

Egyes abnormalis retina struktúrák automatikus detektálása továbbra is kihívást jelentő feladat. A retina morfológiája és intenzitása megváltozhat a rendellenes struktúrák miatt, így a normál retina kép szegmentálására használt morfológiai és optikai tulajdonságokkal kapcsolatos előzetes ismeretek valószínűleg nem lesznek érvényesek. A szubretinális hiperreflektív anyag, amint a neve is sugallja, sok összetevőből áll, beleértve folyadékot, fibrint, vért stb., és összetétele idővel megváltozik, ezért az SHRM reflektívása heterogén. Ezzel szemben a pigment epithel leválás intenzitása alacsonyabb, tehát alapvetően ezek elválaszthatók egymástól. Ennek ellenére sok esetben a fent bemutatott okok miatt helyük és jelenlétük nem egyértelmű. Egyes esetekben a rendellenességek annyira elválaszthatatlanok, hogy egy biomarkerként kezelik őket.

Módszerünk gráf vágási megközelítésen alapul, de az egyes szegmensek különböző feltételek alapján kerülnek meghatározásra. A lehetséges SHRM régió elhelyezkedése fontos szerepet játszik a PED területek kijelölésében. Sok esetben az SHRM nem egyértelműen határolható körül, amint azt a 5. ábrán is látható.



5. ábra. A dobozdiagramok a módszerünk által elért Dice együtthatókat mutatják a PED és SHRM esetében. Mindkét esetben az átlagos Dice érték 0.7 felett van. Fekete kereszt = átlag Dice érték; üres körök = kiugró értékek; PED = pigment epithel leválás; SHRM = szubretinális hiperreflektív anyag.

## 2.5. Külső retinális tubuláció szegmentálása

A külső retinális tubulációt (ORT) először Zweifel és munkatársai írták le [22] úgy, mint „hiporeflektív tubuláris struktúrák, amelyek hiperreflektív határral rendelkeznek és a retina nukleáris rétegében vannak”. Az ORT számos retina betegségben megjelenik biomarkerként.

Javasoltunk egy módszert, amely egyszerű képfeldolgozási műveleteket alkalmaz az ORT detektálására. Ez a módszer hiperreflektív pontok megtalálására épül. Ebben az esetben a zaj csökkentése érdekében Wiener szűrőt alkalmazunk, de akkora kernellel, mellyel a hiperreflektív pontokat még nem mossuk el, Hessian detektor használatával lokalizálhatóak maradnak. A detektált pontok közül a tévesek kiszűrésére valamilyen előzetes információt használunk a biomarkerekről, például a szubretinális és intraretinális folyadék helyéről, a retina vastagságáról. Az ORT behatárolása sok esetben nagyon nehéz, mivel nem minden esetben különíthető el a biomarker hiperreflektív fala a környezetétől. Mivel feltételezzük, hogy az ORT hiperreflektív pontokat tartalmaz, a detektált pontokra távolságtérképet számítunk, küszöböljük azt és végül meghatározzuk az objektumok konvex burkát.

A klasszikus módszereken alapuló eljárás nem robusztus különféle képekkel szemben, ezért általánosabb megközelítést fejlesztettünk ki az ORT detektálására, mely az eredeti U-Net architektúra egy módosított változata. Három különbség van:

- csökkentjük a rétegek számát a tanítás felgyorsítása érdekében,
- megkészserezzük a szűrők számát az egyes rétegekben, hogy nagyobb modellt kapjunk, mivel az eredeti és az augmentált képeken nagy a torzulás mértéke, ezért elvárjuk, hogy a modell invariáns legyen erre a változásra,
- a túltanulás elkerülése érdekében minden konvolúciós réteg között Dropout-ot használunk, kivéve az utolsó két réteget.

A rendelkezésre álló képi adatok mennyisége rendkívül kicsi (132 példa), de a gépi tanulási módszerek a több tanítóadattól profitálnak és a több adat segíthet csökkenteni a túltanulást is, ezért valósidejű adatbővítést alkalmazunk a tanítás során. Mivel az

adathalmazunk csak kilenc beteg szekvenciáit tartalmazza, beágyazott keresztvalidációt használunk a hiperparaméter hangolásához és a teszt hiba méréséhez. A bemenet a teljes OCT kép, és a sztochasztikus gradiens módszert (SGD) használjuk a veszteségfüggvény optimalizálására.

A Dice érték jól leírja a szegmentálás pontosságát, fő célunk azonban nem az ORT minél pontosabb lokalizálása, hanem csak az objektumok számosságának meghatározása. Ezért a Dice együttthető mellett az ORT objektumok Recall értékét is kiszámítjuk. A 1. táblázat mutatja a keresztvalidációval elért Dice és Recall értékeket. A sorok az orvosok eredményei egymáshoz viszonyítva, MD\_1 MD\_2 ellen, és a módosított U-Net architektúra az MD\_1 és MD\_2 maszkok egyesítésével szemben.

1. táblázat. Az orvosok és a tanított modellek objektumszintű és globális teljesítménye.

	Recall (objektum)	Dice (globális)	Dice (objektum)
MD_1	0.908	0.682	0.665
MD_2	0.812	0.625	0.590
U-Net	0.847	0.579	0.583

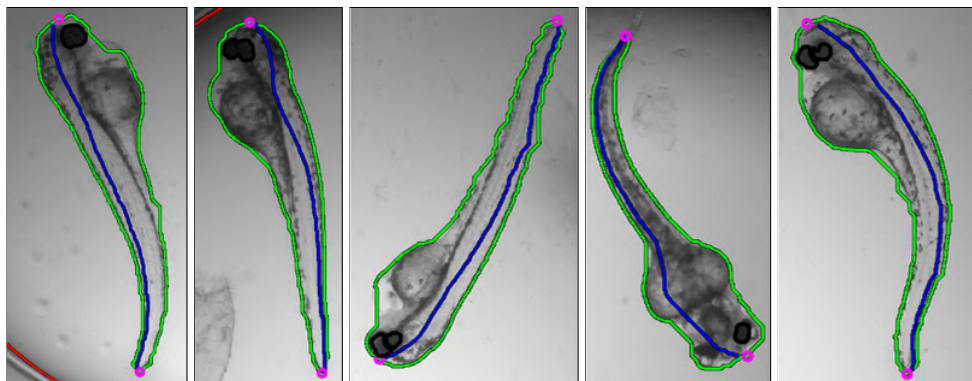
### 3. Zebrahal embriók morfológiai elváltozásainak detektálása

Az élet számos területén folynak kutatások, melyeknek egyik nagyon fontos ága, hogy milyen módszerekkel lehet hatékonyan kezelni a rákos megbetegedéseket. A sugárkezelés napjainkban az egyik leggyakoribb módszer a különböző daganatos megbetegedések kezelésében, annak ellenére, hogy sajnos az egészséges szövetekre gyakorolt káros mellékhatásai is ismeretesek. A sugárterápia után bekövetkező rövid és hosszútávú következményeket, valamint a különböző sugárforrások szövetekre, sejtekre kifejtett hatásait sugárbiológiai kísérletekkel vizsgálhatjuk. Az *in vivo* zebrahal embrió modell egy új állatkísérletes lehetőség a sugárbiológiában. Sugárkezelés után dóziszfüggő módon morfológiai elváltozások észlelhetők az embriókban. A zebrahal modell alkalmazásával a biológiai változások értékelése nagy számú egyedben lehetséges, ezáltal erős statisztikai elemzést tesz lehetővé. A kifinomultabb, precíz morfológiai mérések (az egyszerű túlélési vizsgálatokon túl) rendkívül idő- és energiaigényesek a kutatók számára, ezért bemutatunk egy automatikus keretrendszert, mely a folyamatot felgyorsítja, ugyanakkor megtartja az értékelés megbízhatóságát, és valós eredményekhez vezet, segítve ezzel a biológusok munkáját.

A szakirodalomban számos módszer található a zebrahal embriókról készült mikroszkópos felvételek elemzésére, ám ezek csak egy-egy részproblémára adnak megoldást. A morfológiai változások elemzése előtt szükséges a képek kiválogatása, minőségének javítása, mivel azok elmosódottak lehetnek, nem tartalmaznak embriót vagy előfordulhat olyan eset is, hogy az embrió elpusztult. A zebrahalakról készült felvételeken a well szélei is megjelennek, mely behatárolására javasoltunk megoldást. Különböző alaktani jellemzőket nyerünk ki, annak érdekében, hogy gyorsabban megítélhető legyen a hal sugárkezelésre adott válasza. Bemutatunk egy olyan eljárást, mely képes a zebrahal területének be-



határolására, a szem lokalizálásra, átmérőjének meghatározására, a hal feje és farka közötti távolság, valamint a hal orientációjának megadására. Az elért eredményeket manuális annotációval hasonlítjuk össze. A 6. ábrán néhány szegmentálási eredmény látható.



6. ábra. A detektált zebrahal embriók, valamint azok behatárolt szeme, fejcsúcs és gerincvég pontjai.

## 4. Vizuális kódok lokalizálása

A vizuális kódok fontos szerepet játszanak az automatikus azonosításban, mely a kereskedelmi folyamatok szinte elválaszthatatlan része és a mobilkommunikációnak köszönhetően a hétköznapi életben is egyre elterjedtebb, kódokba ágyazott webcímeket és leírásokat is tartalmazhatnak.

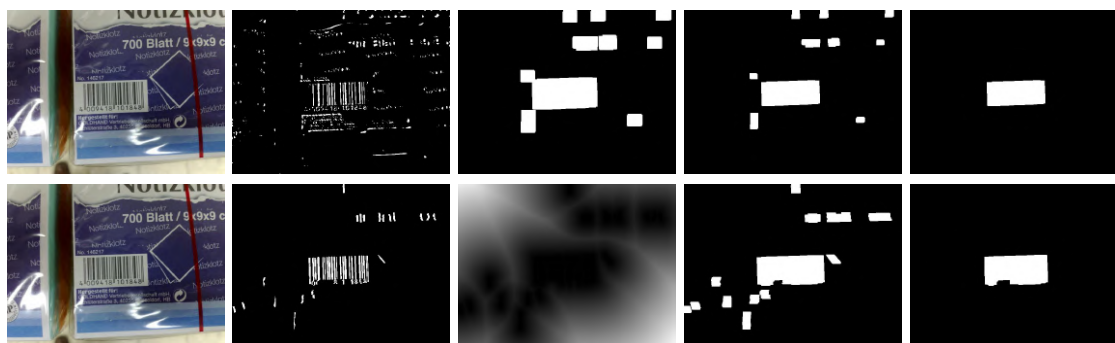
Míg az optimális paraméterekkel (fókusz, megvilágítás, kód tájolás és helyzet) a vonalkód olvasása egyszerű, a kódrégiók lokalizálása sok esetben még mindig kihívást jelent. Minden beállításnak megvannak a sajátosságai, ezért sok megközelítés indokolt. Az ipari alkalmazásoknak valószínűleg több rögzített paramétere van, mint például a megvilágítás, a kamera típusa és a kód mérete, valamint a feldolgozási sebesség és pontosság a legfontosabb követelmények. A mindennapi használat során sokféle kódtípus, méret, zajszint és elmosódás figyelhető meg, de a feldolgozási sebesség gyakran nem döntő fontosságú, és a képalkotási folyamat megismételhető a sikeres detektálás érdekében.

### 4.1. Morfológiai műveleteken alapuló algoritmusok

A matematikai morfológia hasznos a képek geometriai szerkezeteinek elemzésében és feldolgozásában. Az 1D-s hagyományos kódok detektálására javasolt eljárásunk völgydetektáláson alapul és két fő fázisból áll. A bemeneti képet szürkeárnyalatossá alakítjuk az előfeldolgozási fázisban, mivel bár a vonalkódok különféle színekben megjelenhetnek, de a mintát alapvetően a sötét sávok váltakozása világos háttéren jellemzi. A képen található zaj csökkentése érdekében Gauss simítást, míg az élek kiemelésére völgydetektálást használunk. A lehetséges vonalkód régiók lokalizálása érdekében az élkiemelt képet globális küszöböléssel binarizáltuk. Az így kapott eredményképen előfordulhatnak még téves szegmensnek is. Ezeket a régiókat terület alapú küszöbölés segítségével távolítjuk

el. Mivel a vonalkód párhuzamos sávok sorozatából áll, és a sávok eltérő távolságra vannak egymástól, tehát nem alkotnak összefüggő objektumot, ezért ebben a szakaszban a dilatációt használjuk ezeknek a mintáknak az egyesítésére.

A bemutatott módszer javítása érdekében más nézőpontot alkalmazunk a vonalkód régiók lokalizálására a binarizálást követően, mivel azt figyeltük meg, hogy azokban az esetekben, amikor rossz megvilágítás jellemezte a képet, gyengébb eredményeket ért el az eljárás. Ugyancsak kihasználjuk a vonalkód felépítésének előnyeit, azt a tényt, hogy hozzávetőlegesen szabályos párhuzamos vonalakból áll. Minden pixelre kiszámoljuk a legközelebbi nem nulla pixeltől való euklideszi távolságát. A távolságtérkép segítségével a többi objektumtól távol eső objektumokat könnyen le lehet dobni, és csak a közelben lévőket (egy vonal szegmensek csoportját) kell megőrizni. A fennmaradó nem kívánt objektumok eltávolításához ugyanazokat a lépéseket végezzük, mint az eredeti eljárásban, de más szerkesztőelemekkel és küszöbértékekkel. Az algoritmusok közbülső kulcsfontosságú lépéseit a 7. ábrán foglaljuk össze.



7. ábra. Az eredeti javasolt módszer közbülső lépései (felső sor) és továbbfejlesztett detektálási módszer (alsó sor) hagyományos 1D-s vonalkódok lokalizálására.

A javasolt módszerek hatékonyságát összehasonlítottuk néhány szakirodalmi megközelítéssel [3, 8, 18]. Az algoritmusaink gyorsan képesek lokalizálni a vonalkód területeket. Sok esetben a gyorsabb eljárás ára, hogy nem pontosan vagy egyáltalán nem találják meg a kódokat. Az általunk javasolt módszer esetében azonban a sebesség nem jár jelentős pontosságbeli veszteséggel.

## 4.2. Mintaillesztésen alapuló eljárások

A mintaillesztés egy megközelítés egy sablon helyének megtalálására. Mivel a klasszikus 1D vonalkódok hasonló mintákat mutatnak és a 2D kódok esetében is megfigyelhetünk sajátosságokat, így a mintaillesztés lehetséges megoldás lehet a detektálásukra.

Javasoltunk egy módszert az 1D-s vonalkódok detektálására mintaillesztéssel. A korábban leírt módszerekhez hasonlóan az előfeldolgozási szakaszban javítottunk a kép minőségén. A lokalizálási folyamat bináris képeken alapul, ezért a képet binarizáltuk. A vonalkódot alkotó sávok téglalap alakúak, ezért ebből a szempontból megvizsgáljuk az egyes objektumokat. Ha az nem téglalap alakú, akkor nem tekintjük lehetséges kód régióknak. A mintaillesztéshez használt sablon két párhuzamos vonalból áll. A minta illesztése a frekvenciatartományban gyors Fourier-transzformációval történik. A valós vonalkód régiók

kiszűrése érdekében a kódokra vonatkozó priori információkat használunk fel. A kód teljes területének meghatározásához négyzet alakú szerkesztőelemmel morfológiai nyitást végzünk. A szerkesztőelem méretét az objektumok közötti maximális távolság alapján határozzuk meg. Ez a módszer halmozott 2D vonalkódokon is működik.

Egy másik sablon felhasználásával a módszer adaptálható a QR kódok helyének meghatározására is. A vonalkód területek lokalizálása érdekében az intenzitások szórásán alapuló adaptív szűrési módszert használunk. Empirikus megfigyelések alapján az előző lépésben kapott képet binarizáljuk, mellyel számos hibás szegmenst kiszűrhetünk. A kód szegmenseket mintaillesztés segítségével validáljuk, melyhez egy kisebb méretű QR kódot használtunk mintának.

A megközelítéseinket összehasonlítottuk a szakirodalomban szereplő más algoritmusokkal. Az 1D-s kódok esetében a Muenster adatbázison, míg a QR kódot detektáló algoritmusokat a Dubská adatbázison értékeltük ki [2, 4, 6, 7, 21].

Néhány kvalitatív eredményt mutat be a 8. ábra. A képek egy része rosszul megvilágított, geometriailag torzult és/vagy olyan objektumot tartalmaz, mely hasonlít mintázatot mutat, mint egy vonalkód.



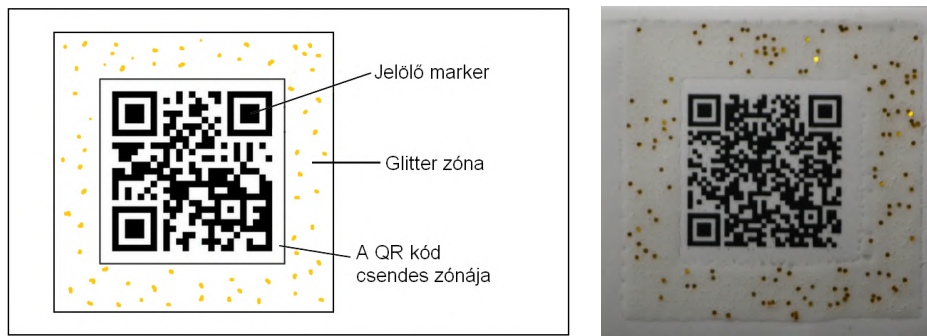
8. ábra. A javasolt módszerek kvalitatív eredményei néhány kihívást jelentő 1D és QR képeken.

### 4.3. Vizuális kódok hitelességének validálása

A vizuális kódokat az általánosan használt geometriai minták felhasználásával tervezték, amelyek általában típusokat vagy egyéneket azonosítanak. Készíthetők azonban olyan minták, amelyek egyedi jellegűek és ezért felhasználhatók az eredetiség vagy a hitelesség ellenőrzésére. Az azonosító címke ebben az esetben mesterséges és természetes azonosítók kombinációját tartalmazza. Egy meghatározott méretű QR kód található a címke közepén. Ez a kód bármilyen, az alkalmazás szempontjából releváns tartalmat kódolhat, például sorozatszámot vagy kulcsot az adatbázisban. A 9. ábra a címke elrendezésének vázlatos rajzát és a valódi prototípus címke képét mutatja.

A címke specifikációjától függően eltérő képfeldolgozási megközelítésekre van szükség. Ebben az esetben a képfeldolgozási folyamat a következő fő lépésekből áll:

1. QR kód helyzetének és orientációjának meghatározása,
2. a glittereket tartalmazó zóna behatárolása,
3. glitterek detektálása,
4. glitterek jellemzőinek kinyerése.



9. ábra. Az NFI címke elrendezésének vázlata (balra) és egy valódi prototípus címke képe (jobbra).

Az azonosítás folyamatát az előző képfeldolgozási szakaszban kinyert jellemzők felhasználásával végeztük el. A következő részfeladatokat valósítottuk meg:

1. pontok párosítása,
2. hasonlósági mérték kiszámítása,
3. döntés az elfogadásról vagy az elutasításról.

Prototípusunk megvalósításában kizárólag a detektált glitter középpontjának normalizált helyzetét használtuk a felismeréshez. A fejlesztés ezen szakaszában ez elegendő volt a megfelelő validáláshoz. Az elért eredmények azt mutatják, hogy az ilyen NFI technológia megvalósítható mobil alkalmazásokkal is.

## 5. A disszertáció tézisei

Az **első téziscsoport** eredményei az időskori makuladegeneráció (AMD) különböző biomarkereinek optikai koherencia tomográf (OCT) képek elemzésén alapuló vizsgálatához kapcsolódnak, beleértve új módszerek kidolgozását és orvosi referencia szegmentálásokkal való összehasonlítását.

- I/1. Javasoltam két új megközelítést a retina belső határhártyája (ILM) és a retina pigmentepithel (RPE) réteg lokalizálására.
- I/2. Kidolgoztam egy eljárást a rétegfelgyűrődés pozíciójának és mértékének meghatározására, mely fontos jellemző az AMD megítélése szempontjából.
- I/3. Javasoltam két új algoritmust a szubretinális folyadék (SRF) és ciszták detektálására.
- I/4. Kidolgoztam egy eljárást a pigmentepithel leválás (PED) és a szubretinális hiperreflektív anyag (SHRM) régiók meghatározására.
- I/5. Javasoltam egy új, klasszikus képfeldolgozó műveleteket alkalmazó módszert, valamint egy konvolúciós neurális hálózatot a külső retinális tubuláció (ORT) lokalizálására.

A **második tézis** eredménye a radiobiológiai kutatásokban használt zebrahal embriók sugárzás hatására bekövetkező morfológiai változásainak automatikus detektálása mikroszkópos képeken.

II. Kidolgoztam egy új eljárást a lyuk zónájának behatárolására és a zebrahalak különböző alaktani jellemzőinek kinyerésére: meghatároztam az embriók végpontjait és hosszát, az embrió szemeinek pozícióját és átmérőjét, a hal irányultságát. Az eredményeket összehasonlítottam a biológusok által mért értékekkel.

A **harmadik téziscsoport** eredményei vizuális kódok lokalizációjához kapcsolódnak digitális képeken.

III/1. Javasoltam két új, morfológiai műveleteken alapuló algoritmust az 1D-s klaszszikus és 2D-s halmozott vonalkódok lokalizálására.

III/2. Kidolgoztam egy-egy új, mintaillesztésen alapuló eljárást a hagyományos kódok és a QR kódok helyének meghatározására.

III/3. Javasoltam egy algoritmust egy hibrid vizuális kód (NFI) detektálására és felismerésére.

III/4. Elvégeztem 12 kódlokalizációs módszer kiterjedt összehasonlító elemzését 1D és 2D kódokat ábrázoló, több tízezer valós és szintetikus képet tartalmazó publikusan elérhető illetve saját összeállítású adatbázison.

A 2. táblázatban összegezzük a kutatásokból származó publikációk és az egyes tézispontok viszonyát.

2. táblázat. A publikációk és a tézispontok kapcsolata.

Publikáció	Tézispont									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4
[12]	•	•	•							
[14]			•							
[15]					•					
[17]	•			•						
[5]					•					
[16]						•				
[9]							•			•
[10]							•			•
[11]									•	
[13]								•		•

## Hivatkozások

- [1] J. Dombi. *Modalities*, pages 53–65. Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [2] O. Gallo and R. Manduchi. Reading 1D Barcodes with Mobile Phones Using Deformable Templates. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 33(9):1834–1843, 2011.
- [3] J. Juett and X. Qi. Barcode localization using bottom-hat filter. *NSF Research Experience for Undergraduates*, 2005.
- [4] D-T. Lin and C-L. Lin. Automatic location for multi-symbology and multiple 1d and 2d barcodes. *Journal of Marine Science and Technology*, 21:663–668, 2013.
- [5] I. Megyeri, M. Katona, and L. G. Nyúl. A Novel Approach to Detect Outer Retinal Tubulation using U-net in SD-OCT images. Submitted. 2019.
- [6] E. Ohbuchi, H. Hanaizumi, and L. A. Hock. Barcode Readers Using the Camera Device in Mobile Phones. In *Proceedings of the 2004 International Conference on Cyberworlds, CW '04*, pages 260–265, 2004.
- [7] G. Sörös and C. Flörkemeier. Blur-resistant Joint 1D and 2D Barcode Localization for Smartphones. In *Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pages 11:1–11:8, 2013.
- [8] E. Tekin and J. M. Coughlan. An algorithm enabling blind users to find and read barcodes. In *Applications of Computer Vision (WACV), 2009 Workshop on*, pages 1–8, 2009.
- [9] M. Katona and L. G. Nyúl. A Novel Method for Accurate and Efficient Barcode Detection with Morphological Operations. In *2012 Eighth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems*, pages 307–314, 2012.
- [10] M. Katona and L. G. Nyúl. Efficient 1D and 2D Barcode Detection Using Mathematical Morphology. In *Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing*, pages 464–475. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [11] M. Katona and L. G. Nyúl. Fast Recognition of Natural Feature Identifiers by a Mobile Phone. *Acta Cybernetica*, 22:101–116, 2015.
- [12] M. Katona and L. G. Nyúl. An Approach to the Quantitative Assessment of Retinal Layer Distortions and Subretinal Fluid in SD-OCT Images. *Acta Cybernetica*, 23:615–628, 2017.
- [13] M. Katona, P. Bodnár, and L. G. Nyúl. Distance Transform and Template Matching Based Methods for Localization of Barcodes and QR Codes. *Computer Science and Information Systems*. doi: <https://doi.org/10.2298/CSIS181011020K>.
- [14] M. Katona, A. Kovács, R. Dégi, and L. G. Nyúl. Automatic Detection of Subretinal Fluid and Cyst in Retinal Images. In *Image Analysis and Processing – ICIAP 2017*, pages 606–616, 2017.

- [15] M. Katona, A. Kovács, L. Varga, T. Grósz, J. Dombi, R. Dégi, and L. G. Nyúl. Automatic detection and characterization of biomarkers in oct images. In Aurélio Campilho, Fakhri Karray, and Bart ter Haar Romeny, editors, *Image Analysis and Recognition – ICIAR 2018*, pages 706–714, Cham, 2018. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-93000-8\_80.
- [16] M. Katona, T. Tókécs, E. R. Szabó, Sz. Brunner, I. Z. Szabó, R. Polanek, K. Hideghéty, and L. G. Nyúl. Automatic Segmentation and Quantitative Analysis of Irradiated Zebrafish Embryos. In *Computational Modeling of Objects Presented in Images. Fundamentals, Methods, and Applications*, pages 95–107, 2019.
- [17] M. Katona, A. Kovács, R. Dégi, and L. G. Nyúl. Segmentation of Subretinal Hyper-reflective Material and Pigment Epithelial Detachment Using Kernel Graph Cut. In *Progress in Computer Recognition Systems*, pages 98–105. Springer International Publishing, 2020.
- [18] T. R. Tuinstra. *Reading Barcodes from Digital Imagery*. PhD thesis, Cedarville University, 2006.
- [19] W. Wieclawek. Automatic cysts detection in optical coherence tomography images. In *Mixed Design of Integrated Circuits Systems (MIXDES), 2015 22nd International Conference*, pages 79–82, 2015.
- [20] G. R. Wilkins, O. M. Houghton, and A. L. Oldenburg. Automated Segmentation of Intraretinal Cystoid Fluid in Optical Coherence Tomography. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(4):1109–1114, 2012.
- [21] I. Yun and J. Kim. Vision-based 1D barcode localization method for scale and rotation invariant. In *TENCON 2017 - 2017 IEEE Region 10 Conference*, pages 2204–2208, 2017.
- [22] S. A. Zweifel, M. Engelbert, K. Laud, R. Margolis, R. F. Spaide, and K. B. Freund. Outer Retinal Tubulation: A Novel Optical Coherence Tomography Finding. *JAMA Ophthalmology*, 127(12):1596–1602, 2009.

# A szerzőnek a disszertáció témájában megjelent közleményei

## Folyóiratcikkek

**M. Katona** and L. G. Nyúl. Fast Recognition of Natural Feature Identifiers by a Mobile Phone. *Acta Cybernetica*, 22:101–116, 2015.

**M. Katona** and L. G. Nyúl. An Approach to the Quantitative Assessment of Retinal Layer Distortions and Subretinal Fluid in SD-OCT Images. *Acta Cybernetica*, 23:615–628, 2017.

**M. Katona**, P. Bodnár, and L. G. Nyúl. Distance Transform and Template Matching Based Methods for Localization of Barcodes and QR Codes. *Computer Science and Information Systems*. doi: <https://doi.org/10.2298/CSIS181011020K>.

## Nemzetközi konferenciakiadványokban megjelent közlemények

**M. Katona** and L. G. Nyúl. A Novel Method for Accurate and Efficient Barcode Detection with Morphological Operations. In *2012 Eighth International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems*, pages 307–314, 2012.

**M. Katona** and L. G. Nyúl. Efficient 1D and 2D Barcode Detection Using Mathematical Morphology. In *Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing*, pages 464–475. Springer Berlin Heidelberg, 2013.

**M. Katona**, A. Kovács, R. Dégi, and L. G. Nyúl. Automatic Detection of Subretinal Fluid and Cyst in Retinal Images. In *Image Analysis and Processing – ICIAP 2017*, pages 606–616, 2017.

**M. Katona**, A. Kovács, L. Varga, T. Grósz, J. Dombi, R. Dégi, and L. G. Nyúl. Automatic detection and characterization of biomarkers in oct images. In Aurélio Campilho, Fakhri Karray, and Bart ter Haar Romeny, editors, *Image Analysis and Recognition – ICIAR 2018*, pages 706–714, Cham, 2018. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-93000-8\_80.

**M. Katona**, A. Kovács, R. Dégi, and L. G. Nyúl. Segmentation of Subretinal Hyperreflective Material and Pigment Epithelial Detachment Using Kernel Graph Cut. In *Progress in Computer Recognition Systems*, pages 98–105. Springer International Publishing, 2020.

**M. Katona**, T. Tókécs, E. R. Szabó, Sz. Brunner, I. Z. Szabó, R. Polanek, K. Hideghéty, and L. G. Nyúl. Automatic Segmentation and Quantitative Analysis of Irradiated Zebrafish Embryos. In *Computational Modeling of Objects Presented in Images. Fundamentals, Methods, and Applications*, pages 95–107, 2019.

I. Megyeri, **M. Katona**, and L. G. Nyúl. A Novel Approach to Detect Outer Retinal Tubulation using U-net in SD-OCT images. In *The 15th International Conference on Signal Image Technology & Internet Based Systems*, 2019. Submitted for publication.



## További kapcsolódó publikációk

**M. Katona** and L. G. Nyúl. Improved 1D and 2D barcode detection with morphological operations. In *A Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társaságának 9. országos konferenciája - KÉPAF 2013*, pages 309–324, 2013.

**M. Katona** and L. G. Nyúl. Fast recognition of natural feature identifiers by a mobile phone. In *The 9th Conference of PhD Students in Computer Science (CSCS 2014) : Volume of Extended Abstracts*, page 26, 2014.

**Katona M.** and Nyúl L. G. Vonalkódok és természetes vizuális azonosítók felismerése valós időben. In *A Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társaságának 10. országos konferenciája - KÉPAF 2015*, pages 562–577, 2015.

R. Dégi, A. Kovács, **M. Katona**, L. G. Nyúl, L. G. Varga, J. Dombi, and T. Grósz. Quantitative assessment of the manifestation of age-related macular degeneration via automated image analysis of spectral-domain optical coherence tomography. In *European Society of Retina Specialists 15th EURETINA Congress*, page 1 p., 2015.

Varga L., **Katona M.**, Grósz T., Dombi J., Kovács A., Dégi R., and Nyúl L. G. Időskori makula degeneráció kvantitatív jellemzése SD-OCT képek automatikus elemzésével. In *Új alapon az egészségügyi informatika : A XXVIII. Neumann Kollokvium konferencia-kiadványa*, pages 43–48, 2015.

**M. Katona** and L. G. Nyúl. Quantitative Assessment of Retinal Layer Distortions and Subretinal Fluid in SD-OCT Images. In *The 10th Conference of PhD Students in Computer Science (CSCS 2016) : Volume of Extended Abstracts*, page 37, 2016.

A. Kovács, R. Dégi, **M. Katona**, L. G. Nyúl, L. Varga, J. Dombi, and T. Grósz. Biomarkerek automatikus karakterizálása OCT felvételek időbeli elemzésére. In *Magyar Szemorvostársaság Retina Szekciójának Kongresszusa*, page 1 p., 2017.

**Katona M.**, Tőkés T., Szabó E. R., Brunner Sz., Polanek R., Hideghéty K., and Nyúl L. G. Sugárkezelésen átesett zebrahal embriók automatikus morfológiai elemzése. In *A Képfeldolgozók és Alakfelismerők Társaságának 12. országos konferenciája - KÉPAF 2019*, page Paper 21. 12 p., 2019.