

Strokovni prispevek/Professional article

AVTOMATSKO ODKRIVANJE EKSKAVACIJE VIDNEGA ŽIVCA PRI DIAGNOSTICIRANJU GLAVKOMA

THE AUTOMATIC MEASUREMENT OF PAPILLA EXCAVATION IN FUNDUS IMAGES

Andrej Ikica¹, Uroš Prelesnik², Branko Ikica¹

¹ Iks d. o. o., Obrtniška cesta 11a, 1420 Trbovlje

² Zdravstveni dom Trbovlje, Rudarska cesta 9, 1420 Trbovlje

Prispelo 2005-04-04, sprejeto 2005-05-10; ZDRAV VESTN 2005; 74: 627-30

Ključne besede: glavkom; ekskavacija papile; računalniški vid; avtomatsko odkrivanje vidnega živca; avtomatsko odkrivanje ekskavacije

Izvleček – Izhodišča. *Slike očesnih ozadij vsebujejo vizualno informacijo, ki oftalmologu pomaga pri diagnosticiranju številnih bolezni, med drugim tudi glavkoma. Z merjenjem razmerja C/D, t.j. razmerja ekskavacije in premera papile vidnega živca, lahko postavimo sum na glavkomsko bolezen. Skupaj z ostalimi znaki (očesni tlak, vidno polje, pregled zakotja) diagnosticiramo glavkom in v primeru dovolj zgodnje diagnoze lahko bolezen učinkovito nadzorujemo.*

Metode. V članku opisujemo metodo za avtomatsko odkrivanje vidnega živca ter njegovo ekskavacijo. Pri delu smo uporabili splošno znane postopke računalniškega vida in nekatere priredili posebej za reševanje opisanega problema. Tako smo za odkrivanje vidnega živca uporabili Gauss-Newtonovo metodo iterativno, pri kateri z vsako ponovitvijo dosežemo boljši približek.

Rezultati in zaključki. Pri delu smo uporabili 39 slik očesnih ozadij. Odkrivanje vidnega živca je uspelo v 33 primerih, ki smo jih uporabili pri nadaljnjem odkrivanju ekskavacije. Ekskavacija je bila pravilno odkrita v vseh primerih. Dobljeni rezultati so obetavni in spodbudni za nadaljnje delo na področju računalniške diagnostike.

Key words: glaucoma; optic disc cup; computer vision; automatic optic disc detection; automatic optic disc cup detection

Abstract – Background. *Fundus images contain visual information that can help an ophthalmologist diagnose several diseases, including glaucoma. The latter can be easily detected by measuring the optic disc cup in fundus images. The optic disc cup is defined as a C/D ratio, a ratio between the cup diameter and the optic disc diameter.*

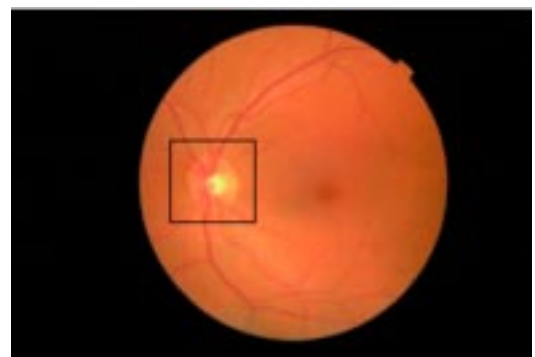
Methods. *In this paper we present a system for an automatic optic disc detection and an automatic C/D measurement which facilitates glaucoma diagnosis made by the ophthalmologist. We have used standard computer vision methods and modified some of them to obtain better results.*

Results and conclusions. *Described methods were tested on a set of 39 fundus images. Optic disc area was successfully detected in 33 cases. Detection of cupping was 100% successful. The results are very promising and represent a good starting-point for further development in computer-assisted diagnostics.*

Uvod

V okulistični ordinaciji Zdravstvenega doma Trbovlje je nameščena fundusna kamera Topcon NW100 za slikanje očesnih ozadij (sl. 1). Na sliki se v črnem kvadratu nahaja vidni živec ovalne oblike.

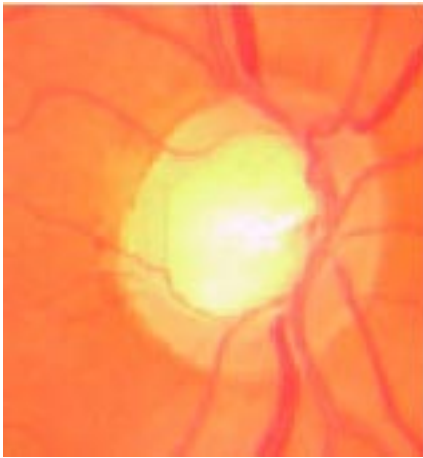
Slike očesnih ozadij služijo oftalmologu kot odličen pripomoček pri diagnosticiranju številnih bolezni, med drugim tudi glavkoma. Pri diagnosticiranju slednjega si pomagamo z določitvijo ekskavacije, saj je ta bolj ali manj izražena. Normalna vrednost ekskavacije je nekje med 0,3 in 0,4¹. Potrebno je omeniti, da je med zdravo populacijo velika variabilnost v velikosti papile. Razmerje C/D (cup/disc) ima omejeno vrednost in



Sl. 1. Slika očesnega ozadja.

Figure 1. Fundus image.

¹ Vrednost ekskavacije, ki leži zunaj mejnih vrednosti, še ni nujno patološka!



Sl. 2. Primer patologije.
Figure 2. Example of pathology.

ga je potrebno interpretirati vedno z velikostjo papile. V epidemioloških raziskavah so ugotovili razmerje C/D, večje kot 0,6 pri manj kot 5% zdrave populacije.

Namen raziskovalnega dela je postavitve računalniškega sistema, ki bi oftalmologu omogočil kvantitativno vrednotenje ekskavacije in omogočil boljše spremljanje.

Metode

Avtomatsko odkrivanje vidnega živca

Vidni živec je najsvetlejši in najočitnejši del očesnega ozadja. Vanj vstopajo žile. Je ovalne oblike. S poskusi smo ugotovili, da je najbolj viden v komponenti M (angl. magenta) barvnega modela CMY (angl. cyan, magenta, yellow). Zato sliko najprej pretvorimo iz barvnega modela RGB (angl. red, green, blue) v model CMY. Nadaljnje procesiranje izvajamo v omenjeni komponenti.

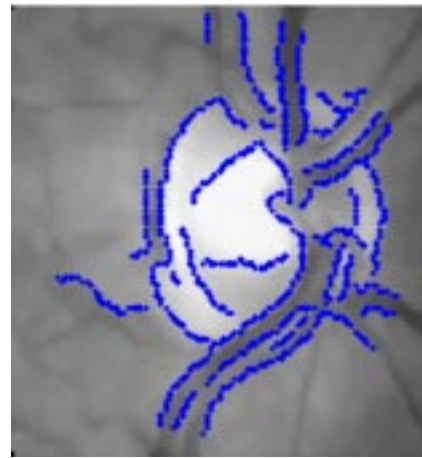
Na sliki, ki jo obdelujemo, najprej poiščemo območje, kjer se najverjetneje nahaja vidni živec. To storimo tako, da vzamemo 5% najsvetlejših slikovnih elementov in jih združimo v gručice² (angl. cluster). Iz originalne slike izrežemo sličico velikosti 100×100 slikovnih elementov, katere center sovпада s težiščem največje gručice. Slika velikosti 100×100 slikovnih elementov vstopa v nadaljnjo obdelavo.

Odkrivanje vidnega živca je močno povezano z iskanjem optimalnega kroga v množici ravninskih točk³. Uporabili smo Gauss-Newtonovo metodo, ki je natančneje opisana v nadaljevanju.

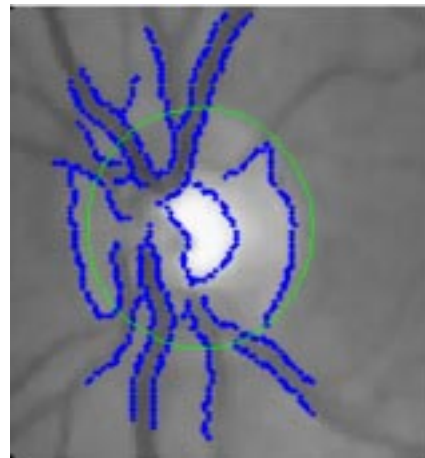
Odkrivanje vidnega živca z Gauss-Newtonovo metodo

Obdelano sliko velikosti 100×100 slikovnih elementov najprej filtriramo, nato pa na njej s Cannyjevim detektorjem robov poiščemo slikovne elemente, ki ustrezajo robovom (glej sl. 3).

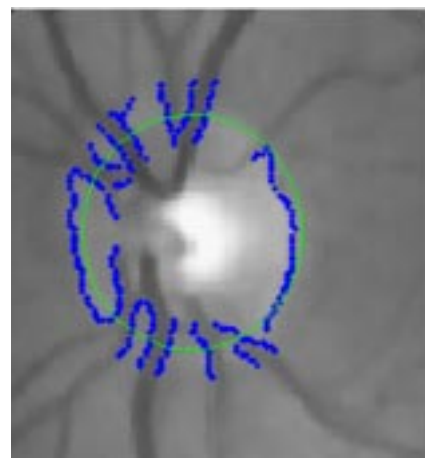
Dobljeni robovi poleg robov vidnega živca vsebujejo tudi ostale robove (žile, eksudati ipd.). Ker Gauss-Newtonova metoda najde krožnico, ki se optimalno prilagaja vsem točkam (ne le robovom vidnega živca), se dobljena krožnica ne ujema z vidnim živcem (glej sl. 4).



Sl. 3. Detektirani robovi.
Figure 3. Detected edges.



Sl. 4. Začetni približek.
Figure 4. Starting approximation.

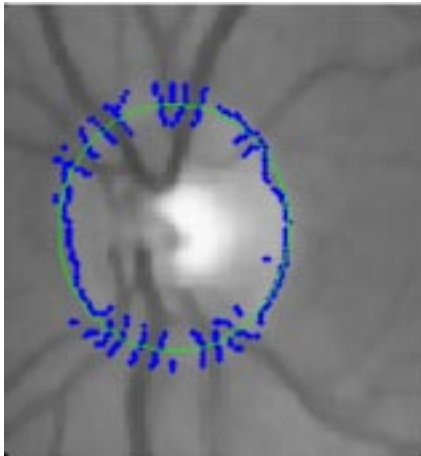


Sl. 5. Prva iteracija.
Figure 5. First iteration.

² Gručica je definirana kot množica slikovnih elementov, ki se dotikajo svojega sosedu.

³ Omenjena tematika, ki spada v področje optimizacije, presega obseg te razprave, zato se v podrobnosti ne bomo spuščali.

Opazimo, da kljub neujemanju dobljene krožnice z vidnim živcem le-ta vseeno leži v njegovi neposredni bližini in jo lahko uporabimo kot zadovoljiv začetni približek. Ker se želimo



Sl. 6. Dvajseta iteracija.
Figure 6. The twentieth iteration.

z zaporedjem iteracij čimbolj približati dejanskemu robu vidnega živca, se problema lotimo na naslednji način. Na vsakem koraku poiščemo robove le znotraj kolobarja, ki ga npenja dobljena krožnica in ki ga ob vsaki iteraciji zožimo. Ker smo z vsako ponovitvijo bliže resničnemu robu vidnega živca, lahko na vsakem koraku zmanjšujemo tudi prag detektorja robov. S tem najdemo tudi manj intenzivne dele vidnega živca, hkrati pa se izognemo detekciji nepotrebnih žil, saj je kolobar čedalje ožji. Zapišimo povedano z algoritmom:

1. Postavi začetni prag detektorja robov na vrednost t .
2. Postavi toleranco kolobarja⁴ na 0,25.
3. Najdi robove in generiraj začetno rešitev – krožnico.
4. Ponavljaj, dokler ni dosežen robni pogoj:
 - a) najdi robove znotraj kolobarja in poišči krožnico (Gauss-Newtonova metoda), ki se jim najbolj prilaga;
 - b) postavi:

$$t \leftarrow t - 0,04 \cdot t$$

$$tol_k \leftarrow tol_k - 0,02 \cdot tol_k$$

Odkrivanje okvare papile

Iskanje okvare vidnega živca je preprosto. Znotraj območja, ki ustreza vidnemu živcu, poiščemo najsvetlejši slikovni element. Ta služi kot informacija o intenziteti slikovnih pikselov, ki pripadajo okvari. Če ima najsvetlejši slikovni element vidnega živca intenziteto i_{max} , ustrežajo okvari vidnega živca vsi slikovni elementi, katerih intenziteta ustreza pogoju $i \geq 0,95 \cdot i_{max}$. Primer detekcije okvare vidnega živca je na sliki 7.

Merjenje razmerja C/D

Ekskavacija papile je opredeljena kot razmerje med premerom ekskavacije in premerom celotne papile. Določitev premera vidnega živca ustreza polmeru krožnice, ki ga obdaja. Pri okvari vidnega živca pa je dolžino težje določiti. Ker je ekskavacija najpogosteje nepravilne oblike, smo kot dolžino okvare definirali premer množice slikovnih elementov, ki ustrežajo okvari. Primer premera okvare je prikazan v zeleni barvi na sliki 7. Na podlagi vrednosti razmerja dolžin okarakteriziramo sliko z enim od razredov: bp, sum in patologija.



Sl. 7. Okvara vidnega živca.
Figure 7. Optic disc damage.

Rezultati

Metode smo preizkusili na 39 slikah očesnih ozadij. Rezultati so prikazani v razpredelnici 1. Obkljukani stolpec predstavlja slike, pri katerih je detekcija uspela, stolpec s križcem pa predstavlja neuspele primere.

Detekcija papile vidnega živca ni uspela v 6 primerih, ki so ustrezali levemu in desnemu očesnemu ozadju treh različnih bolnikov. V prvem primeru detekcija ni uspela zaradi slabe intenzitete roba vidnega živca, v drugem primeru zaradi barvnega neujemanja slike z ostalimi učnimi primeri, v tretjem primeru pa je bil vidni živec nepravilne oblike in močno prepleten z žilami.

Razpr. 1. Rezultati detekcije papile in detekcije ekskavacije.

Table 1. Results of optic disc and cup detection.

	✓	+	Skupaj Total
Detekcija papile / Papilla detection	33	6	39
Detekcija ekskavacije / Detection of excavation	32	1*	33

Metoda odkrivanja ekskavacije se izkaže za zelo učinkovito, saj je v vseh primerih pravilno odkrila ekskavacijo. Kot število neuspešno odkritih ekskavacij je zapisano število 1*. S tem smo želeli poudariti, da je ekskavacija z algoritmičnega stališča sicer pravilno odkrita, s stališča oftalmologa, ki je pri postavitvi diagnoze upošteval tudi druge parametre (zavitost žil), pa je predel okvare v resnici veliko večji.

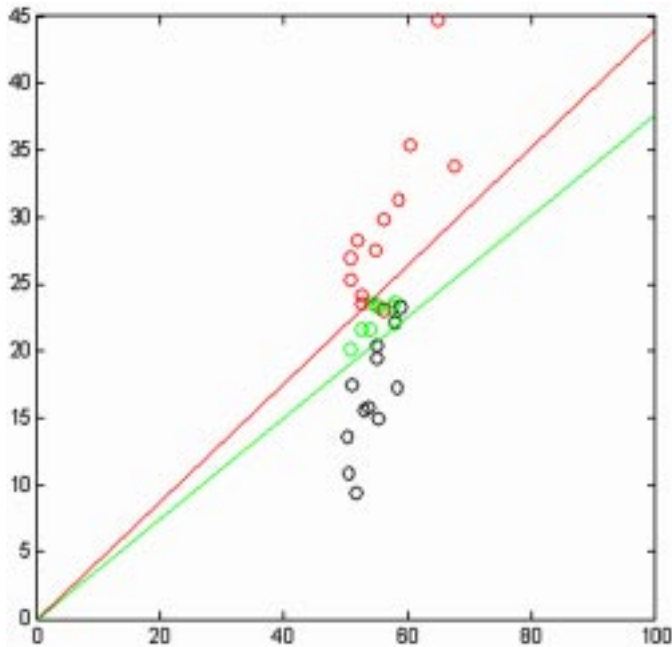
Porazdelitev izračunanih ekskavacij je prikazana na sliki 8. Z rdečo so označeni primeri, ki jih je oftalmolog rangiral v patološki razred, z zeleno primeri suma na glavkom in s črno barvo vsi ostali primeri (b. p.). Rdeča premica ima naklon 0,44 in je meja med patološkimi in sumljivimi očesnimi ozadji, zelena premica pa ima naklon 0,375 in je meja med sumljivimi in normalnimi (b. p.) očesnimi ozadji. S primerjavo izračunanih ekskavacij in oftalmologovih diagnoz smo določili mejne vrednosti ekskavacij, ki jih uporabimo pri grupiranju slik očesnih ozadij v razrede. Vrednosti so prikazane v razpredelnici 2.

Razpr. 2. Mejne vrednosti ekskavacij.

Table 2. Borderline values of optic cup.

	Ekskavacija (e) Excavation (e)
b. p. / Normal	$e < 0,375$
Sum na glavkom / Glaucoma suspicion	$0,375 \leq e \leq 0,44$
Patologija / Pathology	$e > 0,44$

⁴ Naj bosta dana toleranca kolobarja tol_k in polmer R . Potem sta minimalni in maksimalni polmer kolobarja enaka $l - tol_k \cdot R$ in $l + tol_k \cdot R$.



Sl. 8. Porazdelitev ekskavacij.

Figure 8. Distribution of cupping.

Literatura

1. Li H, Chutatape O. Fundus image features extraction. Proceedings of the 22nd Annual EMBS International Conference; 2000 July 23-28; Chicago, USA.
2. Chernov N, Lesort C. Least squares fitting of circles and lines. January 1, 2003. Dosegljivo na: <http://arxiv.org/abs/cs/0301001>
3. Gander W, Golub GH, Strelbel R. Least-squares fitting of circles and ellipses. Dosegljivo na: <http://www.ulb.ac.be/assoc/bms/Bulletin/sup962/gander.pdf>
4. Kanski JJ. Clinical ophthalmology. Second ed. London: Butterworth-Heinemann; 1993.
5. Čupak K. Oftalmologija. Zagreb: Nakladni zavod Globus; 1994.

Razpravljanje in zaključki

Namen članka je proučiti metode za avtomatsko računalniško odkrivanje ekskavacije vidnega živca, ki bi oftalmologu pomagale pri natančnejši določitvi ekskavacije. Dobljeni rezultati so spodbudni, vendar bo potrebno metode preizkusiti na večji množici slik očesnih ozadij. Predvsem bo potrebno zagotoviti višji odstotek pravilno odkritih vidnih živcev.

Razvoj bo potekal v dveh smereh. Prva bo detekcija elipsastih vidnih živcev. Za odkrivanje krogov in ne elips smo se odločili, ker ima vidni živec skoraj v vseh primerih bolj ali manj obliko krožnice. V nekaterih, sicer redkih primerih (astigmatizem), pa se pojavlja tudi elipsasta oblika vidnega živca.

Druga smer razvoja bo odstranitev vpliva žil, ki močno ovirajo potek iskanja optimalne krožnice. Velikokrat se zgodi, da je intenziteta robov žil večja od intenzitete roba vidnega živca, kar povzroči, da rešitev konvergira proti krvnim žilam.

Kljub obetavnim rezultatom bo sistem služil le kot pripomoček oftalmologu in bo deloval pod njegovim nadzorom. Očesnega ozadja in bolnika nasploh se ne da opisati s popolnoma zanesljivim matematičnim modelom, potrebne so izkušnje in oftalmologov občutek, ki poda končno diagnozo.