

University of Groningen

Brain-inspired computer vision with applications to pattern recognition and computer-aided diagnosis of glaucoma

Guo, Jiapan

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2017

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Guo, J. (2017). *Brain-inspired computer vision with applications to pattern recognition and computer-aided diagnosis of glaucoma*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

In dit proefschrift richtte ik op twee hoofdonderzoekstromen. In het eerste deel heb ik en mijn medewerkers een operator voorgesteld voor objectherkenning, namelijk het inhibitie-verhoogde trainbare COSFIRE-filter. In tegenstelling tot het oorspronkelijke COSFIRE filter, dat uitsluitend op excitatoire input staat, wordt het voorgestelde filter versterkt met een inhibitie mechanisme dat kwalitatief gelijk is aan vorm-selectieve neuronen in het IT-gebied van visuele cortex. De opname van het remmingsmechanisme verbetert de discriminatie eigenschappen en de prestatie van COSFIRE filters. Kwantitatieve experimenten op drie toepassingen tonen de effectiviteit van de voorgestelde inhibitie-verhoogde COSFIRE filters.

In het tweede deel van het proefschrift stelde ik en mijn medewerkers een systematische aanpak voor om oogartsen te helpen met populatie-gebaseerde glaucoomscreening. De voorgestelde methode detecteert automatisch visuele eigenschappen die door oogartsen geïnterpreteerd kunnen worden om het risico op glaucoom te kwantificeren. We hebben geëxperimenteerd op acht datasets retinale fundusbeelden en de prestatie geëvalueerd door de automatisch verkregen resultaten te vergelijken met die van een ervaren oogarts. De voorgestelde aanpak blijkt doeltreffend te zijn om de grenzen van de optische schijven te definiëren en een betere overeenstemming te bereiken met betrekking tot de handmatige annotaties voor grote VCDR's, die pathologie aanduiden.

Hoofdstuk 2 beschrijft het voorgestelde algoritme voor het vergroten van het excitatoire COSFIRE-filter, dat door een enkel positief prototypepatroon wordt geconfigureerd, door een reeks negatieve prototypepatronen op te nemen. De configuratie van een dergelijk filter omvat het selecteren van gegeven kanalen van een bank van Gabor-filters die excitatoire of remmende ingangen verschaffen en bepaalde vervagende- en shiftparameters bepalen. Het antwoord wordt berekend door de gewogen remmende ingang van de excitatoire ingang af te trekken.

De kwantitatieve experimenten tonen de effectiviteit van de voorgestelde inhibitieverhoogde COSFIRE filters in drie toepassingen: de exclusieve detectie van vasculaire bifurcaties in retinale beelden (DRIVE dataset), de herkenning en lokalisatie van architectonische en elektrische symbolen (GREC2011 dataset) en de herkenning handgeschreven cijfers (MNIST dataset). In de eerste twee toepassingen bleek dat de inhibitieverhoogde COSFIRE-filters een betere discriminatie vermogen hebben. Dit komt omdat in dergelijke toepassingen het vaak voorkomt dat een symbool in een ander symbool van een andere klasse voorkomt, bijvoorbeeld is een bifurcatie in een cross-over opgenomen. In de derde applicatie resulteert de descriptor die gebaseerd is op de voorgestelde inhibitieverhoogde COSFIRE-filters een dunnere weergave en draagt bij aan een betere herkenningsgraad met een minder aantal filters.

Hoofdstuk 3 richt zich op het voorgestelde computerondersteunde systeem voor de analyse van retinale fundusbeelden. In dat hoofdstuk beschrijf ik twee algoritmen die ik en mijn medewerkers voorstellen voor optische schijf lokalisatie en diameter schatting, die voorlopige en noodzakelijke stappen zijn in de meeste automatische screeningsystemen voor oogheelkundige pathologieën. De eerste aanpak gebruikt circulaire Hough transform (CHT) om circulaire kandidaten voor de optische schijf te detecteren en selecteert dan degene welke het grootste deel van vat pixels omvat. De experimenten op twee publieke datasets, CHASEDB1 en ONHSD, resulteren in de localisatie nauwkeurigheden van respectievelijk 96.43% en 93.55%. Voor de diameter schatting bereikt de CHT-gebaseerde aanpak relatieve fouten van respectievelijk 10.69% en 8.78%. Het blijkt dat deze aanpak onvoldoende robuustheid heeft met betrekking tot retinale beelden met pathologieën, in het bijzonder diegenen die tekenen hebben van harde exudaten. In de tweede aanpak gebruiken we trainbare COSFIRE-filters die selectief zijn voor de afwijking van vatbomen en lichte schijfpatronen om de optische schijven te lokaliseren en vervolgens ellipsen op hun grenzen te passen. De localisatie-nauwkeurigheden zijn respectievelijk 96.43% en 91.92% op de CHASEDB1- en ONHSD-dataset, terwijl de relatieve fouten op de diameterschatting respectievelijk 10.74% en 8.53% zijn. Verdere evaluatie van de aanpak van meer retinale beelden uit acht datasets (inclusief CHASEDB1 en ONHSD dataset) toont een algemene localisatie-nauwkeurigheid van 99.43%. Voor de diameter schatting is de gemiddelde relatieve fout 9.05%.

Verdere vooruitgang op deze applicatie is opgenomen in hoofdstuk 4, waarin de implementatie van een systematische aanpak wordt beschreven om oogheelkundigen bij glaucoomscreening te helpen. Het systeem bestaat uit vier stappen: de localisatie en grensafbakening van de optische schijf, de segmentatie van de beker, de berekening van de verticale schijf-schijfverhouding (VCDR), samen met een meting die het vertrouwen van het systeem weerspiegelt met betrekking tot zijn

prestaties. Voor de lokalisatie- en grensafbakening wordt de tweede (COSFIRE-gebaseerde) aanpak in hoofdstuk 3 voorgesteld. Voor de beker segmentatie stap, gebruiken wij ongecontroleerde clustering om de schijf regio te segmenteren in de neuro retinale rand en de beker. Tenslotte berekenen we de VCDR-waarde die de verhouding tussen de hoogten van de gesegmenteerde kop en schijf vertegenwoordigt en een betrouwbaarheidsscore geven om het vertrouwen van de verkregen waarde aan te geven. We experimenteren op acht datasets en evalueren de prestaties van de voorgestelde aanpak. Voor 1558 uit 1712 beelden waarop het systeem zelfvertrouwen resulteert, is de gemiddelde VCDR fout gemiddeld 0.17 ten opzichte van de handmatige annotaties. Het systeem zorgt voor een zeer betrouwbare afbakening van de optische schijf ($MCC = 0.90$), waaruit we zijn hoogte verkrijgen. De segmentatie van de beker, en daarmee de meting van zijn hoogte, blijkt het meest uitdagende deel van het systeem te zijn ($MCC = 0.47$). Bland-Altman analyse laat zien dat het systeem een betere overeenstemming bereikt met betrekking tot de handmatige annotaties voor grote VCDR's, die pathologie aanduiden. Voor de classificatieprestatie behaalt het algoritme een AUC van 0.74 wanneer de oogarts de beelden zo gezond maakt met VCDR's minder dan 0.7 en anders als glaucoom.

Het werk dat in dit proefschrift wordt gepresenteerd, trekt onderzoeksbelangen van het ontwerp van computermodellen naar praktische medische toepassingen in oogheelkunde. Het draagt bij tot een nieuw idee voor de ontwikkeling van computermodellen voor visuele patroonherkenning en een veelbelovende oplossing om oogheelkundigen te helpen in een deel van het populatie gebaseerde glaucoom screeningsprogramma.

Het voorgestelde werk kan in de volgende richtingen worden verlengd voor toekomstig onderzoek.

In het eerste deel van het proefschrift richten ik en mijn medewerkers ons op een hersengeïnspireerd computermodel, namelijk het inhibitie-verhoogde COSFIRE-filter, met toepassingen om objecten te herkennen. In de configuratie van dergelijke filters geven wij de waarden van sommige parameters aan, bijvoorbeeld de vervaagweegparameters. Een leermodel dat automatisch de optimale parameterwaarden van bepaalde trainingsgegevens bepaalt, kan in de toekomst worden onderzocht. De uitvoer van het inhibitie-verhoogde COSFIRE filter is momenteel gemodelleerd als het verschil tussen de excitatoire en de gewogen remmende ingangen van de afferente laag. Ook hier kunnen leeralgoritmen worden onderzocht om de output functie automatisch te bepalen.

De voorgestelde aanpak is aangetoond dat deze effectief is in drie toepassingen. In de toekomst kunnen meer toepassingen die lokalisatie en herkenning van interessante patronen vereisen, ook worden onderzocht. Met name, medische toepassingen vereisen de detectie en herkenning van eigenschappen die een

bepaalde pathologie kunnen aanduiden.

In de voorgestelde inhibitie-verhoogde COSFIRE-filters beschouwen we alleen een feedforward-aanpak. Er is echter neurofysiologisch bewijs dat de communicatie tussen neuronen niet alleen voorwaarts is maar ook bestaat uit feedbacklusen (Lamme and Roelfsema, 2000). Studies hebben aangetoond dat feedbackverbindingen voorspellingen van de verwachte neurale activiteit van de hogere naar de lagere corticale zone vertonen en de temporale dynamiek herhaaldelijk herstellen (Rao et al., 2002). Dit kan een andere richting zijn, waarbij de voorgestelde inhibitie-verhoogde COSFIRE-filterbenadering kan worden verlengd. Wij speculeren dat deze extra functionaliteit de selectiviteit van de filters verder kan verbeteren en de toepassingen waar de filters kunnen worden toegepast, verbreden.

In het tweede deel van het proefschrift ligt de nadruk op een belangrijke medische toepassing in oogheelkunde. Het doel van deze applicatie is het detecteren van alle retinale fundusbeelden die tekenen van glaucoom bevatten en hen doorgeven aan medische deskundigen voor verdere analyse. In het toekomstige werk streven ik en mijn medewerkers naar meer gesofisticeerde segmenteringsalgoritmes voor de afbakening van de kop binnen de optische schijf. In het bijzonder zullen we het volledig convolutionele netwerk (FCN) (Shelhamer et al., 2017) onderzoeken, dat gebruik maakt van diep neurale netwerk voor semantische segmentatie. Een andere richting is om naast de VCDR andere glaucoom gerelateerde eigenschappen te verkennen. Deze omvatten bloedingen in de optische schijf en de kopuitgraving. Vervolgens kan een fusie van classificatoren worden onderzocht die alle relevante kenmerken combineren en een definitieve beslissing nemen over de vraag of een gegeven beeld tekenen van glaucoom heeft of niet.