

SISTEM PENGESANAN SALUR DARAH RETINA DAN PENGENAL PASTI PENYAKIT MENGGUNAKAN CNN DAN SVM

Nurul Inarah Bt Mohd Rahim

Dr. Nazatul Aini Abd Majid

Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia

ABSTRAK

Salur darah retina telah banyak digunakan oleh pakar mata untuk mendiagnosis sebarang penyakit yang berkaitan dengan mata. Tujuan projek ini adalah mengatasi masalah yang terdapat di teknik pemprosesan imej bagi memperoleh data dengan bantuan mesin. Oleh itu, projek ini mengkaji kaedah yang optimum dalam memproses imej bagi mendapatkan saluran darah retina. Tetapi ketika di fasa pembangunan sistem, terdapat dua kaedah pemprosesan yang dapat dilakukan. Kaedah tersebut adalah pemprosesan imej berasaskan warna dan pemprosesan berasaskan morfologi. Tujuan pemprosesan ini adalah untuk mengekstrak ciri atau 'feature' saluran darah melalui imej fundus tersebut. Projek ini akan menerangkan bagaimana kedua dua kaedah pemprosesan imej tersebut akan memberikan impak yang besar di bahagian output. Projek ini juga menerangkan penggunaan pembelajaran mesin untuk mengenal penyakit dari input imej fundus serta menimbangankan di antara kedua teknik pembelajaran mesin yang digunakan. Teknik pembelajaran mesin yang digunakan adalah Mesin Sokongan Vektor(SVM) dan Rangkaian Neural Konvolusional(CNN). Untuk setiap teknik yang digunakan, semua fungsi bergantung sepenuhnya dengan perisian MATLAB. Fungsi tambahan seperti Resnet50 dimuat turun dari laman web 'mathworks.com' iaitu laman web khusus untuk mendapatkan perisian tambahan untuk Matlab bagi menggunakan fungsi yang berkaitan dengan kaedah CNN. Bagi menjalankan kedua dua pembelajaran mesin ini, dataset uji dan latihan telah didapati. Kesemua dataset diperoleh di laman web Kaggle mengandungi dataset imej fundus yang telah dikategorikan mengikut penyakit. Setelah kedua dua pembelajaran imej dilakukan, perbandingan telah dibuat di penghujung pembangunan sistem. Hasil keputusan daripada kedua dua proses ini menunjukkan cnn lebih cekap dalam mengklasifikasikan imej fundus berbanding SVM. Tetapi perbezaannya tidak ketara dan SVM mampu mengklasifikasikan imej fundus dengan baik.

1 PENGENALAN

Dalam bidang pakar mata, terdapat banyak faktor yang akan mempengaruhi fisiologi seseorang individu bagi setiap umur, amat memudahkan jika pakar ini dapat mengenalpasti sebarang masalah dari usia kanak-kanak yang mungkin akan memberi impak yang lagi besar apabila diusia dewasa. Kecanggihan teknologi dalam pengimejan perubatan dapat membantu mereka mengenalpasti perbezaan orbital serta luka okular. Penilaian diagnostik pediatrik dan ophthalmologik khususnya telah banyak bertambah baik dengan menggunakan modal pengimejan seperti ultrasound, tomografi berkomputer dan lain lain. (Mafee, Mafee, Malik, & Pierce, 2003)

Tetapi dalam kajian ini, penggunaan pengimejan fundus akan diteliti untuk menyelidik tentang bagaimana penggunaan teknologi imej ini dapat membantu pakar mata untuk mengenalpasti penyakit seseorang individu. Fotografi fundus ini memotret bahagian belakang mata yang juga dikenali sebagai fundus. Struktur utama yang dapat divisualisasikan melalui gambar ini adalah retina pusat dan periferan cakera optik dan makula. Penyakit seperti glaucoma, diabetic retinopati dan lain, lain dapat dikenalpasti dengan hanya menganalisis imej ini.

Dengan menggunakan imej fundus, ahli pakar dapat mengenalpasti salur darah retina manusia yang juga akan berhubungkait dengan kesihatan seseorang. Melalui kaedah konvensional, ahli pakar juga dapat mengenalpasti keadaan seseorang individu dengan melihat jika terdapat kelainan dalam salur darah retina. Penyakit dapat dikenalpasti jika terdapat sebarang kelainan dari salur darah retina yang sihat. Pakar mata sememangnya telah dilatih dan mengkaji selama bertahun untuk menjadi mahir dalam mendiagnosis imej fundus ini. Maka dengan menggunakan logik ini, mesin juga dapat mempelajari bagaimana untuk mendiagnosis imej fundus ini bagi mengenalpasti penyakit. Dengan kebergantungan kita terhadap teknologi kian meningkat, tidak salah bagi manusia untuk menggunakan teknologi bagi meningkatkan produktiviti mereka dalam menghasilkan kerja yang lebih efisien.

Namun berbeza dari manusia, mesin perlu dilatih terlebih dahulu untuk melakukan sebarang keputusan. Imej fundus yang digunakan untuk mengenalpasti salur darah secara automatik perlu melalui pelbagai kaedah pengoptimuman, penambahbaikan, teknik

segmentasi untuk menghasilkan imej yang berkualiti, paling elegan dan memperoleh struktur yang amat tepat yang akan dijadikan sebagai asas untuk menjalankan prosedur dianostik yang tepat bagi penyakit opthalmologi. Buat masa sekarang, pelbagai kaedah segmentasi telah digunakan namun tidak semua kaedah digunakan dalam kesusasteraan yang diterbitkan setakat ini mampu menghasilkan segmentasi yang amat tepat. Jadi amat penting untuk mengenalpasti kaedah pembelajaran mesin yang paling tepat walaupun mungkin tidak setepat seperti yang diinginkan namun seperti semua mesin, ia tidak mampu untuk menjadi setanding dari manusia bagi memperoleh keputusan. (NC, Santosh Kumar & Y, Radhika 2019)

Dalam kajian ini, pelbagai kaedah pembelajaran mesin akan diekplorasi. Memandangkan kajian ini lebih menekankan terhadap kaedah pembelajaran mesin untuk memperoleh keputusan diagnostik, penggunaan pemprosesan imej yang amat ringkas akan digunakan. Iaitu menukarkan imej kepada hitam dan putih, menukarkan imej tersebut kepada imej binari dan sebagainya. Tujuan pemprosesan imej ini amat perlu bagi tujuan memudahkan mesin untuk mengekstrak ciri-ciri yang penting. Oleh kerana data amat mempengaruhi dalam setiap pembelajaran mesin. Setiap kaedah akan dibanding secara prelimari sebelum diteruskan sepenuhnya dengan kaedah yang dilihat paling efektif.

2 PERNYATAAN MASALAH

Masalah ketika pembangunan projek ini adalah prosedur pemprosesan imej. Prosedur ini amat penting bagi proses segmentasi untuk mengekstrak feature atau data bagi mengesan salur darah retina. Oleh itu, prosedur pemprosesan imej yang digunakan perlu efektif untuk membolehkan sistem mengekstrak ciri ciri yang penting. Dalam pemprosesan imej juga, mungkin akan terdapat ciri ciri penting yang akan hilang dan proses segmentasi imej mungkin tidak akan menghasilkan imej output yang tepat.

Selain itu kaedah pembelajaran mesin yang digunakan perlu dibandingkan. Setiap pembelajaran mesin yang ada pasti ada kelebihan dan keburukan masing masing. Jadi amatlah penting untuk mengetahui bagaimana sesuatu kaedah memperoleh kelebihan berbanding yang lain dan sebaliknya. Setiap hasil dari kaedah yang digunakan juga perlu dicatat bagi memudahkan untuk membuat perbandingan.

Seterusnya, sistem perlulah mampu menjalankan proses melabel struktur salur darah. Data yang penting seperti saiz salur darah retina perlu berupaya dikenalpasti setelah pemprosesan imej bagi mendapatkan struktur salur darah retina daripada imej asal. Bagi mendapatkan saiz salur darah yang tepat mungkin akan rumit kerana setiap imej fundus tidak sama dan mempunyai saiz yang berbeza. Saiz salur darah yang didapati dari imej perlu diselaraskan bagi mendapatkan anggaran saiz yang tepat.

Sistem juga perlu mengklasifikasikan data dengan tepat. Tujuan klasifikasi adalah untuk mengenal pasti jika imej fundus seseorang individu itu normal(0) atau mempunyai penyakit iaitu maculopati(1), fibrosis(2), dan pathological_myopia(3). Tetapi output atau keputusan yang akan dicapai mungkin salah. Setiap pembelajaran yang digunakan untuk mengklasifikasi imej perlu dibanding untuk melihat teknik yang lebih berkesan untuk mengenal penyakit melalui imej fundus.

3 OBJEKTIF KAJIAN

Projek ini dilakukan untuk menggunakan MATLAB bagi tujuan pemprosesan dan juga pembelajaran mesin.

- i. Mencadangkan prosedur pemprosesan imej yang efektif bagi membina sistem pengesanan salur darah retina berdasarkan imej fundus.
- ii. Menilai sistem dalam keberkesanan dalam mengenal penyakit berdasarkan proses pembelajaran mesin yang digunakan.

4 METOD KAJIAN

Model proses pembangunan yang digunakan dalam penyelidikan adalah Agile metodologi. Model agile merupakan metodologi pembangunan yang berulang dengan komunikasi dan maklum balas manusia, menyesuaikan diri dengan perubahan, dan menghasilkan hasil kerja. Metodologi agile juga merupakan proses kombinasi Iterative dan Incremental model.

4.1 Fasa Perancangan

Fasa ini melibatkan proses pengenalpastian masalah, objektif, persoalan kajian dan menentukan skop. Langkah seterusnya adalah sorotan susastera yang melibatkan pengumpulan, pencarian dan pembacaan jurnal dan kajian lepas bagi mencetus idea dan inspirasi. Contoh topik yang berkaitan dikaji terutama berkaitan teknik pemprosesan imej san pembelajaran mesin. Maklumat dikumpul, distruktur dan disintesis dan dipersembah secara kritis dan kreatif dalam fasa analisis.

4.2 Fasa Analisis

Analisis keperluan fasa yang pertama dalam agile model untuk mengenal pasti keperluan yang asas. Semasa menjalankan analisis projek ini, fungsi sistem keperluan harus difahami dan menganalisis masalah dan kekangan projek agar projek dapat dijalankan dengan lancar. Hal ini dikatakan dapat meningkatkan kualiti hasilan projek.

4.3 Fasa Reka Bentuk

Fasa reka bentuk dilaksanakan untuk merancang jalan cerita dan fungsi sistem. Sebagai contohnya, pengguna akan mengguna sistem ini dengan memilih input imej.

4.4 Fasa Pengujian

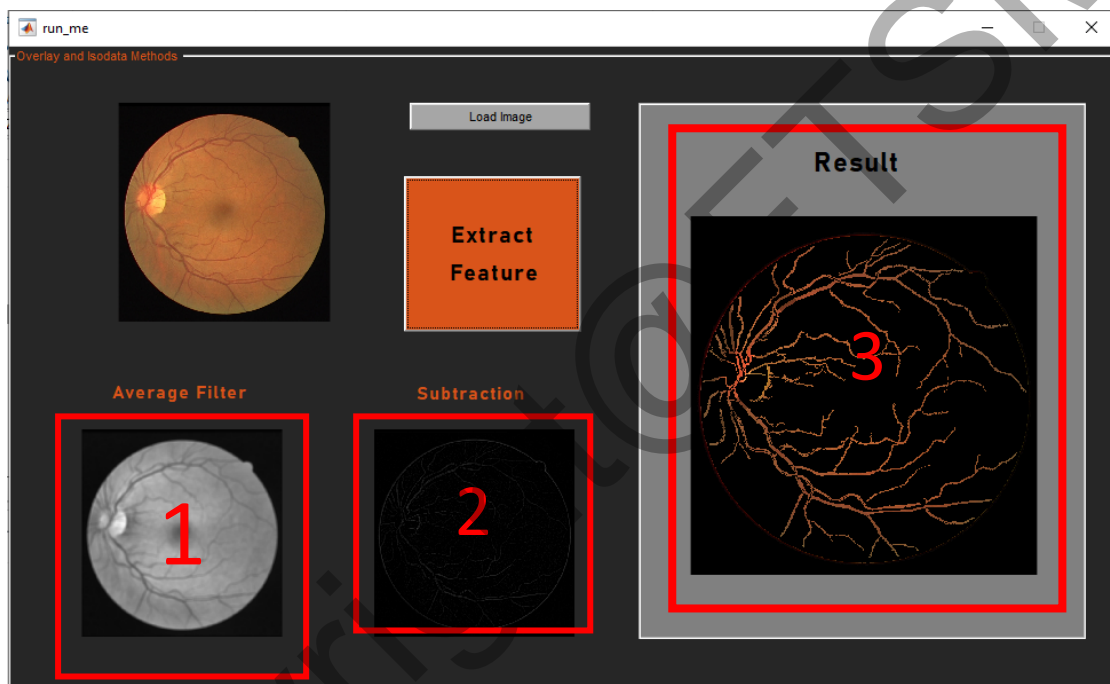
Fasa pengujian amat penting untuk memastikan sistem yang dibangunkan dapat menganalisiskan imej input dan mengekstrak struktur penting bagi memperoleh keputusan yang tepat.

5 HASIL KAJIAN

Bahagian ini akan menerangkan pelaksanaan projek yang dicadangkan dan terbahagi kepada dua bahagian. Bahagian pertama adalah pemprosesan imej dan yang kedua adalah pembelajaran. Dalam proses pemprosesan imej, data atau imej fundus akan disegmentasi untuk mendapatkan salur darah retina. Daripada salur darah yang didapati imej akan dilabel untuk mendapatkan saiz. Seterusnya, untuk bahagian pemprosesan imej, dataset yang didapati dari kajian laman web akan dilatih mengikut kategori dan diuji untuk diklasifikasi. Imej fundus untuk diuji juga didapati melalui pencarian 'Google'. Tambahan pula, kedua bahagian projek ini menggunakan MATLAB sepenuhnya.

Bagi pemrosesan imej, terdapat dua kaedah yang digunakan bagi segmentasi imej fundus untuk mendapatkan salur darah retina. Kedua-dua kaedah ini merupakan kaedah pemrosesan imej berasaskan morfologi.

Untuk kaedah ini Overlay Dan Isodata, imej fundus akan disegmen menggunakan CoyeFilter.m. Algoritma ini menjalankan dua lagi algoritma yang berasingan iaitu imoverlay.m dan isodata.m. CoyeFilter menggabungkan kedua algoritma ini untuk mendapatkan hasil salur darah retina. Rajah 1 menunjukkan antara muka bagaimana teknik ini dijalankan.



Rajah 1 Output untuk Kaedah Overlay dan Isodata

Berdasarkan antara muka di atas, bahagian 1 merupakan hasil 'average filter' yang didapati apabila menjalankan fungsi :

```
h = fspecial('average', [9 9]);
```

```
JF = imfilter(J, h);
```

Bahagian 2 pula didapati apabila menjalani fungsi:

```
Z = imsubtract(JF, J);
```

Z merupakan output bahagian 3. Manakala JF merupakan output daripada bahagian 1.

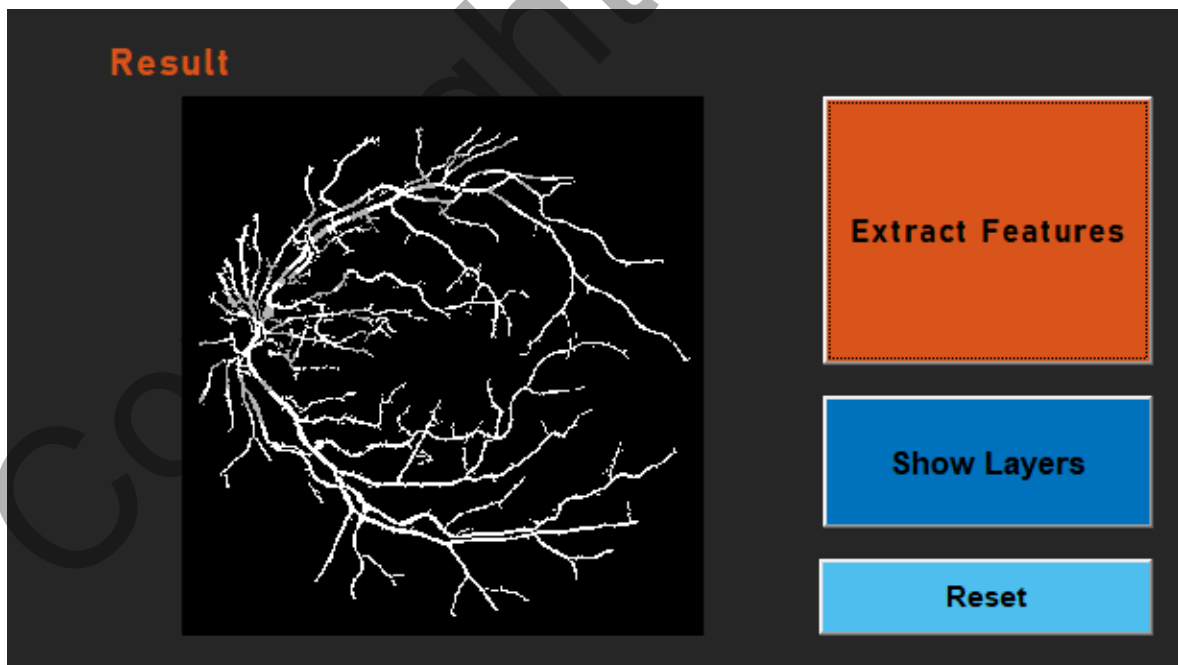
J merupakan imej fundus skala kelabu selepas operasi peningkatan kontras :



Rajah 2 Skala Kelabu Imej J

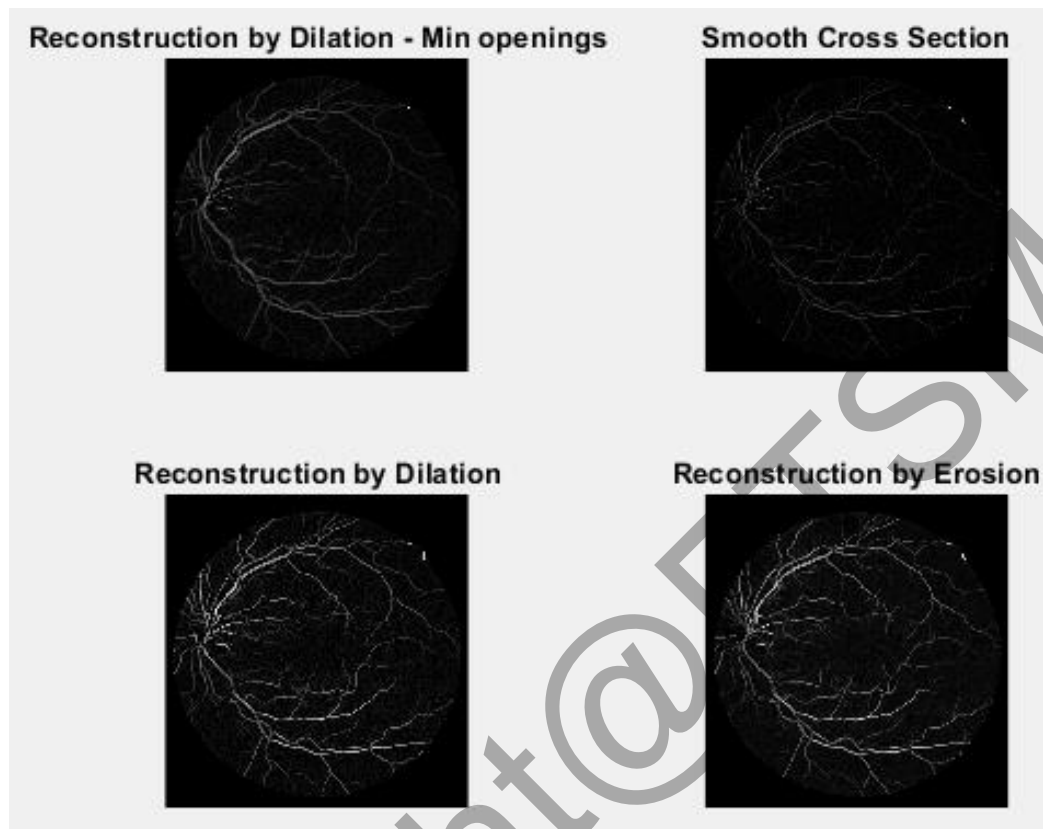
Bahagian 3 pula terhasil apabila kedua-dua output dari bahagian dua digabungkan dengan imej input. Output berwarna jingga seperti dari imej input.

Pemprosesan imej seterusnya adalah daripada morfologi matematik. Kaedah merupakan ini menggunakan 3 input imej iaitu 'test', 'mask' dan 'reference'. Rajah 3 menunjukkan kaedah tersebut.



Rajah 3 Output Morfologi Matematik

Output imej merupakan hasil yang didapati daripada gabungan beberapa imej yang terhasil dari fungsi dibawah.



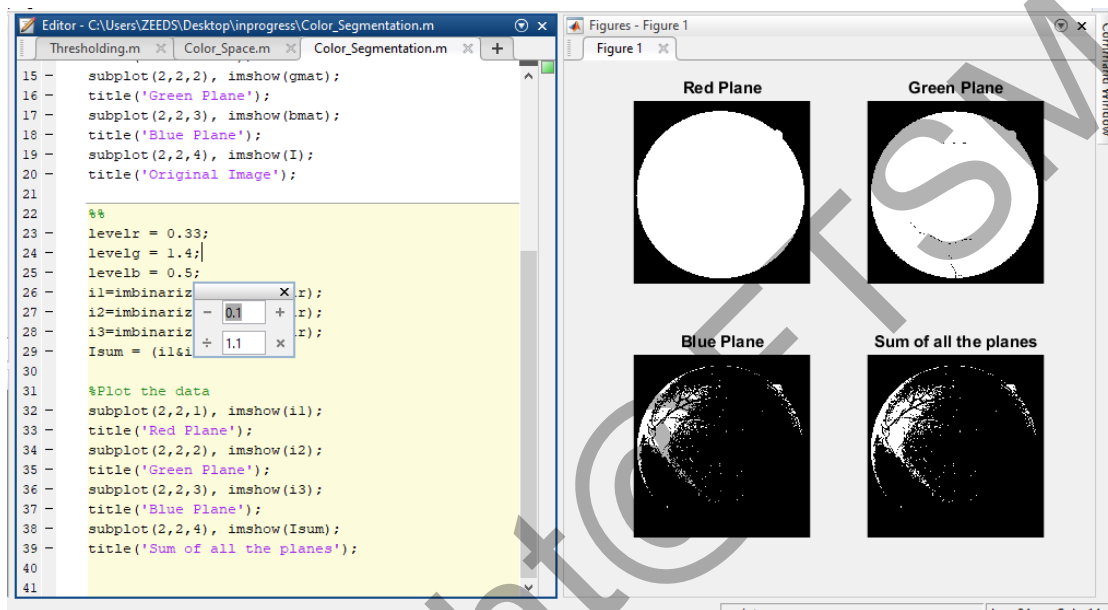
Rajah 4 Output Lapisan yang dihasilkan oleh Morfologi Matematik

Untuk bahagian preliminari pemprosesan imej adalah kaedah pemprosesan berasaskan warna. Pemprosesan imej ini melibatkan pengubahsuaian threshold. Berikut merupakan hasil daripada menjalani kaedah ini.



Rajah 5 Output pemprosesan Imej berasaskan warna

Kaedah ini adalah menukarkan imej fundus kepada 'Grayscale' dengan menggunakan fungsi `rgb2gray()`. Segementasi tidak berjaya kerana pencahayaan imej mengganggu proses segmentasi dan kehilangan sedikit perincian. Kaedah yang lebih terperinci telah digunakan untuk melihat hasil yang boleh didapati. Segementasi ini melibatkan pengubahsuaan 'threshold' bagi setiap saluran imej dalam RGB dan kemudian menghasilkan output. Rajah 6 menggunakan hasil daripada kaedah tersebut.



Rajah 6 Output pemrosesan imej berasaskan warna yang kedua.

Setelah output didapati dari proses segmentasi. Imej tersebut akan dilabel bagi mendapatkan anggaran saiz struktur. Berikut merupakan hasil. Bagi mendapatkan ukuran, diameter terlebih dahulu dalam saiz pixel. Saiz tersebut akan dibandingkan dengan anggaran saiz manusia dewasa iaitu dianggarkan berukuran 11mm sebagai rujukan. Berdasarkan saiz cornea tersebut ukuran mm bagi setiap pixel akan didapati. Ukuran struktur salur darah kemudiannya boleh didapati.



```
>> label
Approximate length based on pixel is: 0.14 mm
The length of the object is: 10.40 mm>>
```

Rajah 7 Output pengiraan saiz struktur saluran darah retina.

Seterusnya, kaedah pembelajaran mesin yang pertama adalah dengan menggunakan svm. Setiap imej akan dilatih dari dataset 'train'. Imej yang dilatih akan dilabel bagi tujuan pengklasifikasi ketika proses ujian. Terdapat 4 kategori set data imej yang dilatih dan 5 imej yang diuji. Setiap kategori data tersebut adalah data untuk imej fundus untuk normal(0), makulopati(1), fibrosis(2) dan patologi_myopia(3).

Setiap imej yang telah dilatih akan dilabel satu persatu. Bagi memudahkan pengekodan, setiap kategori dilabel menggunakan nombor. Setiap nombor ini mewakili kelas dan kelas ini merupakan kategori penyakit dalam proses klasifikasi.

x	y	Class
0.449445	0.168314	1
0.334013	0.164033	2
0.618169	0.133839	3
0.62744	0.122687	4
0.030088	0.124584	5
0.449445	0.168314	1
0.334013	0.164033	2
0.618169	0.133839	3
0.62744	0.122687	4
0.030088	0.124584	5
0.077143	0.173046	0

Rajah 8 Data daripada db.mat

Selain itu, kaedah pembelajaran mesin yang pertama adalah dengan menggunakan CNN. Setiap imej akan dilatih dari dataset 'train'. Imej yang dilatih akan dilabel bagi tujuan pengklasifikasi ketika proses ujian. Terdapat 4 kategori set data imej yang dilatih dan 5 imej yang diuji. Setiap kategori data tersebut adalah data untuk imej fundus untuk normal(0), makulopati(1), fibrosis(2) dan patologi_myopia(3).

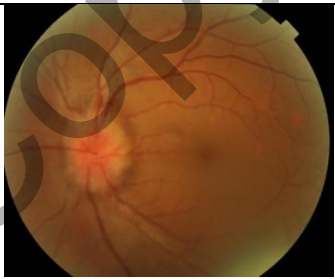

Setiap imej yang telah dilatih akan dilabel satu persatu. Setiap nombor ini mewakili kelas dan kelas ini merupakan kategori penyakit dalam proses klasifikasi.




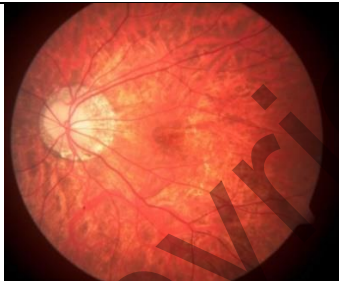
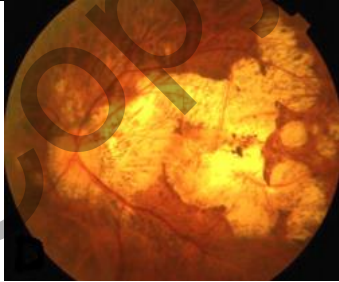

-3.72941	-2.40427	-2.01627	-3.15176	-3.15176	-3.34026	-2.56995	-2.34846	-3.30663	-2.52531	-2.51983	-3.59832	-3.1994	-3.33694	-2.65367	-2.41504	-2.58465	-1.84844	-3.49795	-3.22435
0.874212	2.189609	2.113937	1.43959	1.43959	3.420696	3.371387	0.779365	2.695932	3.500294	3.63098	1.132698	3.011957	2.687087	0.968452	2.882305	1.144364	2.277871	2.101095	2.461388
-3.14784	-1.94182	-2.92584	-2.95775	-2.95775	-2.58954	-3.26355	-1.38953	-2.50348	-1.71095	-3.77388	-1.32838	-3.07057	-3.08117	-3.0976	-2.78768	-2.81961	-3.3928	-3.79184	-3.31348
-2.94751	-2.66791	-2.3009	-3.90503	-3.90503	-2.11904	-2.60271	-1.87984	-2.21537	-2.54652	-3.26644	-1.32835	-3.03827	-1.65843	-3.24208	-2.53724	-3.06452	-3.0838	-3.7793	-2.11545
-1.45408	-1.31088	-1.31736	-0.41394	-0.41394	-1.16909	-1.03197	-0.90103	-1.08344	-1.60792	-1.9297	-0.95616	-1.97328	-1.69179	-1.86588	-2.69293	-1.72675	-1.1798	-2.79168	-2.54167
1.702818	1.798748	4.44659	3.17731	3.17731	3.407783	2.918891	2.003792	3.090365	3.141766	2.996723	2.610796	3.496382	2.77648	2.915735	0.000693	2.74764	2.750723	2.967658	2.766525
-1.65523	-1.01869	1.768551	0.321676	0.321676	-0.96009	-1.12977	-0.06971	0.074973	0.189154	-0.73987	0.351716	0.063449	0.081185	-1.18582	-3.02792	-0.56147	-1.90347	-1.17247	-1.07435
-0.02206	-0.61375	-0.29386	-0.15586	-0.15586	-0.14693	-0.28182	-0.17592	-0.71469	-1.01861	0.037813	-0.31619	-0.68117	-0.70518	-0.20598	-0.69574	1.000233	-0.61194	-0.13433	0.068519
-0.20834	0.254769	0.018317	-0.59379	-0.59379	0.333998	-1.3529	-1.1944	-0.94828	-2.80921	-1.51362	-0.94133	-1.94946	-1.81396	-0.15443	-0.3083	0.825673	-0.07605	0.040907	-1.83134
-1.79215	-2.40614	-1.1918	-1.41695	-1.41695	-0.94831	-1.804	-1.89071	-1.37162	-1.89732	-1.36075	-1.89659	-1.80946	-2.16136	-1.92366	-2.93202	-2.29363	-2.22789	-1.80826	-2.7331



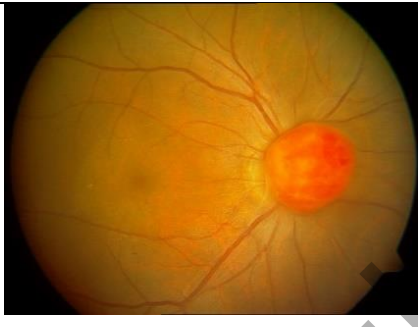


Rajah 9 Data daripada TrainingFeatures.mat

Jadual 1 merupakan keputusan Keputusan dan Perbandingan Kaedah CNN dan SVM. 13 imej telah digunakan untuk diuji dalam projek ini. Input yang digunakan adalah didapati di internet dan set data.

Rujukan			
0=normal	1=makulopati	2=fibrosis	3=myopia patologi

Bil.	Imej fundus	Kategori	Keputusan	
			CNN	SVM
1		Pembengkakan Disk	0	1
2		fibrosis	2	2

3		makulopati	1	1
4		normal	0	0
5		normal	0	3
6		patologi myopia	3	3
7		patologi myopia	3	3
8		makulopati	1	1

9		glaucoma	0	0
10		Optik atrofi	0	0
11		Fundus neoplasm	1	3
12		vkh	0	1
13		fibrosis	1	2

Jadual 1 Keputusan klasifikasi SVM dan CNN

Berdasarkan perbandingan yang dibuat di jadual, teknik pembelajaran mesin mendapat sebanyak 9 keputusan yang betul daripada 13 data manakala SVM pula berjaya mengklasifikasikan 5 imej dengan betul. Imej input tambahan juga yang tidak dilatih telah diinputkan seperti imej fundus glaucoma, vkh, optik atrofi dan pembengkakan bagi menguji keputusan yang akan dikeluarkan daripada kedua teknik tersebut. CNN kebanyakan mengklasifikasikan imej yang tiada di dalam pangkalan data sebagai normal manakala SVM memberikan keputusan yang lebih rawak berbanding SVM. Berdasarkan jadual 5.1 juga, CNN lebih cekap untuk melakukan klasifikasi berbanding SVM tetapi SVM juga mampu mengklasifikasi banyak imej fundus dengan betul. Terdapat juga imej fundus yang berjaya diklasifikasikan oleh teknik SVM tetapi tidak berjaya bagi CNN. Oleh itu menggunakan kedua-dua teknik pembelajaran mesin bagi mengklasifikasikan imej fundus masih sah.

6 KESIMPULAN

Secara kesimpulan, projek ini bertujuan untuk melakukan proses segmentasi untuk imej fundus bagi mengesan salur darah retina. Selain itu, projek ini juga memfokuskan proses pembelajaran mesin bagi mengklasifikasi imej mengikut kategori penyakit. Projek ini juga terbahagi kepada dua bahagian iaitu kepada pemprosesan imej dan pembelajaran mesin. Kedua-dua bahagian tidak berkaitan dan hanya untuk mendapat lebih maklumat daripada imej fundus untuk projek ini. Projek ini juga menggunakan perisian MATLAB sepenuhnya dan tambahan fungsi dilakukan jika perlu bagi membantu kajian di dalam perisian ini. Walau bagaimanapun terdapat kekangan kepada keadaan imej fundus yang tidak dapat dielak dan kekangan terhadap menggunakan pembelajaran mesin bagi mengklasifikasi imej. Penambahbaikan projek ini hanya bertumpukan kepada teknik yang digunakan bagi kedua-dua bahagian projek. Tiada penambahbaikan terhadap perkakasan diperlukan

7 RUJUKAN

Mahmood F Mafee, MD, Rana F Mafee, MD, Mahr Malik, MD, Jill Pierce, MD. 2003. (Medical imaging in pediatric ophthalmology). The Pediatric Clinic of North America Volume 50, Issue 1, Pages 259–286. doi: [https://doi.org/10.1016/S0031-3955\(03\)00002-6](https://doi.org/10.1016/S0031-3955(03)00002-6).

Alasdair McAndrew, School of Computer Science and Mathematics, Victoria University of Technology.

An Introduction to Digital Image Processing with Matlab.2004. Notes for SCM2511 Image Processing 1.

Minal B. Wankhade, Dr. A. A. Gurjar. 2016.

(Analysis of Disease using Retinal Blood Vessels Detection) International Journal Of Engineering And Computer Science ISSN: 2319-7242 Volume 5 Issue 12 Dec. 2016, Page No. 19644-19647.

Santosh Kumar NC, Radhika Y. 2019.

(Optimized maximum principal curvatures-based segmentation of blood vessels from retinal images) Biomedical Research 2019; 30 (2): 308-318.

Thomas Walter, Jean-Claude Klein, Pascale Massin, and Ali Erginay. 2002.

(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, october 2002.

Nancy M. Salem, Asoke K. Nandi. 2006.

(Novel and Adaptive contribution of the red channel in pre processing of colour fundus image) Journal of the Franklin Institute.

Huiqi Li, Opas Chutatape, 2000.

(Fundus Image Features Extraction. Proceedings of the 22nd Annual EMBS International Conference) July 23-28, 2000, Chicago IL.

L. Gagnon, M. Lalonde, M. Beaulieu, M.-C. Boucher. 2014.

(Procedure to detect anatomical structures in optical fundus images) Conference Paper in Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering · July 2001.

Mr. Langade Umesh, Ms. Malkar Mrunalini, Dr. Swati Shinde. 2016.

(Review of Image Processing and Machine Learning Techniques for Eye Disease Detection and Classification). International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), e-ISSN: 2395 -0056 Volume: 03 Issue: 03, Mach 2016.

Debapriya Maji, Anirban Santara, Pabitra Mitra, Debdoot Sheet. 2016.

(Ensemble of Deep Convolutional Neural Networks for Learning to Detect Retinal Vessels in Fundus Images)