

PEMBELAJARAN MENDALAM YANG DISELIA UNTUK PENGECEMAN MUKA

Chen Jian Siong

Khairuddin Omar

Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia

ABSTRAK

Pengecaman muka adalah teknologi yang mampu mengenal pasti manusia melalui elemen audio-visual seperti gambar, video dan sebagainya di wajahnya. Pengecaman muka merupakan satu teknologi yang sangat penting dalam bidang keselamatan. Namun demikian, pengecaman muka manusia sukar dicapai kerana muka manusia mempunyai ciri corak halus dan gambar atau video yang digunakan mungkin mempunyai latar belakang yang meriah dan banyak noise, atau mungkin gambar atau video tersebut tidak jelas disebabkan oleh pencahayaan, kontras dan lain-lain. Jadi, dalam kajian ini, cara penyelesaian yang dicadangkan adalah menggunakan model pembelajaran mendalam yang diselia iaitu Rangkaian Neural Konvolusional (CNN). Oleh itu, dalam kajian ini, penyelesaian yang dicadangkan adalah dengan menggunakan model pembelajaran mendalam yang diselia seperti model *FaceNet* dari Rangkaian Saraf Konvolusional (CNN) untuk mengecam wajah manusia. Set data akan diambil dari set data Bollywood Celebrity Faces. Projek ini bertujuan untuk membangunkan sistem yang dapat mengecam wajah selebriti India dari gambar dengan latar belakang yang rumit dengan pembelajaran mendalam. Ia juga akan memaparkan ringkasan maklumat selebriti India daripada gambar yang dimasukkan oleh pengguna. *Google Colaboratory*, *Scikit-learn* dan *Streamlit* akan digunakan untuk membangunkan sistem ini. Hasil ketepatan model projek ini adalah 98%.

1 PENGENALAN

Pengecaman wajah adalah teknologi yang mampu mengenal pasti manusia melalui elemen audio-visual seperti gambar, video dan sebagainya di wajahnya. Ini adalah kaedah pengenalan biometrik yang menggunakan bahagian tubuh manusia, yang dalam hal ini adalah wajah dan kepala, untuk mengesahkan identiti seseorang melalui corak dan data biometrik wajahnya. Teknologi ini mengumpul satu set data biometrik yang unik kepada setiap manusia berkaitan dengan muka dan ekspresi muka untuk mengenali seseorang.

Teknologi pengesanan muka amat diperlukan dalam bidang keselamatan. Berdasarkan karya Face Recognition: A Survey. Journal of Engineering Science and Technology Review (Sharif, Muhammad & Naz, Farah & Mussarat, Yasmin & Shahid, Muhammad & Rehman, Amjad, 2017), kekaburan wujud dalam kaedah pengiktirafan tradisional kerana mereka mengesahkan orang dan memberi mereka akses ke domain maya dan fizikal yang memeriksa sifat dan ciri tingkah laku dan fisiologi seseorang untuk merealisasikan tujuan mereka. Walau bagaimanapun, ciri-ciri dan sifat biologi seseorang tidak boleh dicuri, dipalsukan, atau dilupakan. Jadi, teknologi pengesanan muka dapat meningkatkan tahap keselamatan diri dan privasi diri.

Kajian ini adalah untuk membangunkan model untuk mengesan muka orang. Untuk mengesan muka, anotasi perlu dibuat pada set data yang dikumpul bagi sistem mengenali muka orang dengan latar belakang gambar. Dengan model ini, ciri-ciri muka manusia dapat diekstrak dan dianalisis. Sekiranya muka berjaya dikesan, kawasan gambar orang tersebut akan dipotong dan dimasukkan ke dalam model pengesanan muka.

2 PENYATAAN MASALAH

Pengesanan muka manusia merupakan satu teknologi yang amat diperlukan pada zaman moden ini. Bagi manusia, orang terdekat sahaja yang dapat dikecam disebabkan oleh limitasi memori. Orang yang diketahui orang ramai seperti selebriti hanya orang yang terkenal sahaja. Pengesanan muka semua selebriti berdasarkan ciri muka mereka adalah mustahil bagi seseorang manusia. Untuk mengatasi cabaran ini, teknologi pembelajaran mendalam yang diselia telah digunakan.

Pengesanan muka seseorang adalah amat diperlukan untuk mendapatkan maklumat mengenai seseorang tersebut. Walau bagaimanapun, sesetengah manusia yang mempunyai ciri muka yang hampir sama menyebabkan sistem pengesanan muka yang tradisional tidak dapat mengesan muka manusia dengan tepat.

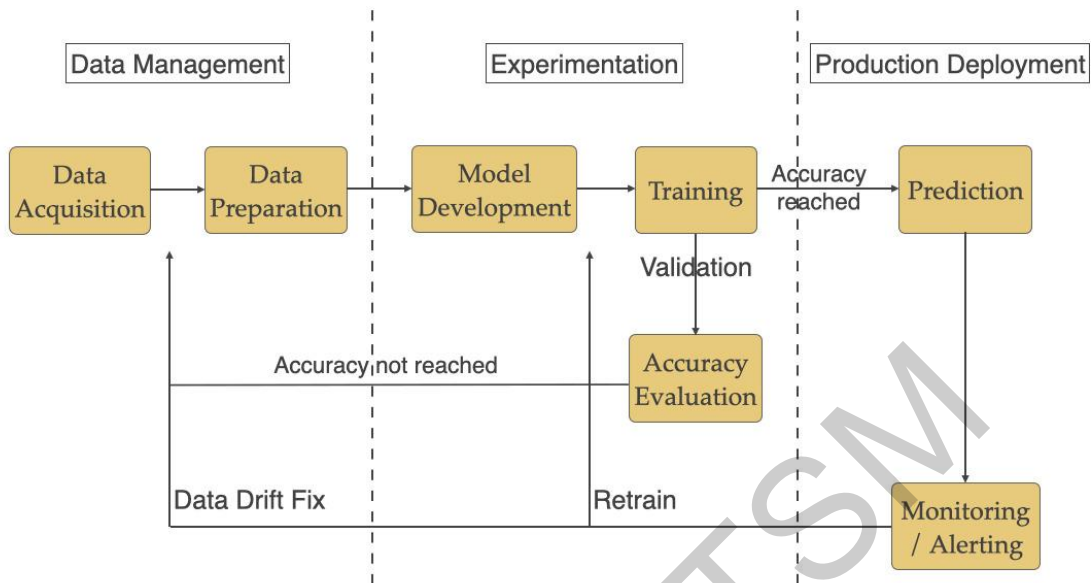
3 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif utama kajian ini adalah membangunkan sistem yang dapat mengecam muka orang dan memaparkan maklumat orang tersebut. Objektif kajian yang lain adalah seperti berikut:

- i. Menganalisis data ciri-ciri muka manusia yang berbeza.
- ii. Mengekstrak dan menyimpan data ciri-ciri muka manusia dalam pangkalan data.
- iii. Mengecam muka manusia dengan membandingkan ciri-ciri muka dalam gambar.
- iv. Memaparkan maklumat mengenai orang yang dikecam kepada pengguna.

4 METOD KAJIAN

Projek ini menggunakan model Aliran Kerja Pembelajaran Mesin sebagai panduan dalam menyelesaikan kajian ini. Secara umumnya, aliran ini dipecahkan kepada beberapa bahagian. Pertama, aliran ini bermula dengan menangani data iaitu mendapatkan data dan memproses data. Data boleh didapati daripada beberapa sumber dan data-data tersebut diproses untuk memastikan data yang tidak sesuai dibuang. Kemudian, data-data tersebut dipecahkan menjadi dua set data, set data latihan dan set data pengesahan. Seterusnya, set data latihan akan dimasukkan ke dalam algoritma supaya algoritma boleh belajar parameter dan ciri data-data tersebut. Proses ini dipanggil proses latihan model. Selepas proses latihan model, model tersebut akan diuji menggunakan set data pengesahan untuk menguji ketepatan model tersebut. Akhir sekali, model tersebut akan digunakan untuk membuat ramalan dan penilaian masih dijalankan supaya sekiranya terdapat kesilapan, model tersebut akan dilatih semula. Dengan menggunakan kaedah ini, kita dapat menjamin ketepatan model pembelajaran mesin kerana model tersebut akan dilatih dan dinilai berkali-kali sehingga ketepatan yang memuaskan dicapai.



Rajah 1 Aliran Kerja Pembelajaran Mesin

Rajah 1 merupakan Aliran Kerja Pembelajaran Mesin. Prosedur kajian mengikut Aliran Kerja Pembelajaran Mesin seperti berikut:

1. Mendapatkan gambar-gambar manusia daripada Internet dan sumber lain dan melakukan pra-pemrosesan ke atas gambar-gambar tersebut.
2. Bahagikan data-data tersebut kepada set data latihan dan set data pengesahan.
3. Mengenal pasti muka manusia dalam set data latihan.
4. Dengan menggunakan Rangkaian Neural Konvolusional (CNN), *FaceNet* dan fungsi "*triplet loss*", gambar-gambar manusia dilatih menggunakan data ciri muka manusia.
5. Model yang dilatih tersebut digunakan untuk melakukan pengecaman muka dalam set data pengesahan.
6. Maklum balas ketepatan CNN dicatat.
7. Kesilapan dan kekurangan dalam proses sebelum disenaraikan.
8. Melakukan penambahbaikan jika perlu untuk menambah ketepatan model.
9. Menganalisis kajian dan melakukan ujian model akhir.
10. Pemberitahuan maklum balas dan proses berakhir.

4.1 Fasa Perancangan

Kajian ini menggunakan model *FaceNet* untuk mengenali muka manusia dalam gambar.

FaceNet adalah sistem yang dibina oleh Florian Schroff, Dmitry Kalenichenko, dan James Philbin. Secara langsungnya ia mempelajari pemetaan dari imej muka ke ruang Euclidean yang padat di mana jarak bersesuaian dengan ukuran kesamaan muka. Setelah penyisipan tersebut dibuat, prosedur seperti pengesanan dan pengesahan muka dapat dilakukan dengan menggunakan penyisipan tersebut sebagai ciri.

FaceNet menggunakan lapisan konvolusional untuk mempelajari perwakilan piksel daripada muka. Jaringan ini dilatih pada set data yang besar supaya pencahayaan, gaya, dan pemboleh ubah lain tidak dapat menjejaskan ketepatannya. Sistem ini dilatih menggunakan set data LFW (“Labelled Faces in the Wild”). Set data ini mengandungi lebih daripada 13,000 imej muka yang dikumpulkan daripada Internet dan setiap wajah mempunyai nama padanya.

FaceNet membuat penyisipan 128 dimensi dari gambar dan memasukkannya ke dalam ruang yang menyimpan ciri, sehingga jarak berkuasa dua antara semua muka, tanpa mengira keadaan, dengan identiti yang sama, kecil, sedangkan jarak berkuasa dua antara sepasang imej muka dari watak berbeza adalah besar. Gambar berikut menggambarkan seni bina model:



Rajah 2: Seni Bina *FaceNet*

Rajah 2 menunjukkan seni bina *FaceNet*. Sistem ini menggunakan fungsi kerugian tertentu yang dinamakan “*triplet loss*”. Fungsi ini meminimumkan jarak L2 antara gambar dengan identiti yang sama dan memaksimumkan jarak L2 antara gambar muka dengan watak yang berbeza.



Rajah 3: Fungsi “triplet loss”

Rajah 3 menunjukkan fungsi “triplet loss”. Penciptanya merancang mekanisme pemilihan kembar tiga yang cekap yang memilih tiga imej pada satu masa. Imej-imej ini terdiri daripada tiga jenis iaitu:

Imej pertama: imej seseorang secara rawak.

Imej kedua: imej yang lain tetapi orang yang sama.

Imej ketiga: imej orang lain.

Dua jarak Euclidean akan diukur. Satu antara imej pertama dan imej kedua. Jarak kedua pula diambil antara imej pertama dan imej ketiga. Proses latihan ini adalah bertujuan untuk mengurangkan jarak pertama dan memaksimumkan jarak kedua supaya imej yang sama terletak dekat dengan satu sama lain manakala imej yang berbeza terletak jauh dengan satu sama lain dalam ruang penyisipan.

4.2 Fasa Analisis

4.2.1 Spesifikasi Keperluan Sistem

4.2.1.1 Keperluan Fungsian

Sistem pengesanan muka harus memiliki keperluan-keperluan berikut kepada pengguna:

- I. Sistem ini berupaya mengesan muka dalam gambar yang pengguna masukkan dan membandingkan muka tersebut dengan gambar dalam pangkalan data.
- II. Sistem ini dapat mengesan muka manusia daripada gambar yang mempunyai latar belakang yang kompleks.
- III. Sistem ini mempunyai antara muka yang senang diguna dan difahami oleh pengguna.

Sistem ini akan memaparkan maklumat manusia yang dikecam. Maklumat tersebut didapati daripada Wikipedia.

4.2.1.2 Keperluan Perkakasan dan Perisian

Spesifikasi perkakasan adalah seperti berikut:

Jadual 1 Spesifikasi keperluan perkakasan

	Pengguna	Pembangun
RAM	4GB	8GB
CPU	Intel Core I5	Intel Core I5
Cakera Keras	HDD/SSD 50GB	HDD/SSD 100GB
GPU	NVIDIA GeForce MX350	NVIDIA GeForce GTX 1050

Jadual 1 menunjukkan spesifikasi keperluan perkakasan.

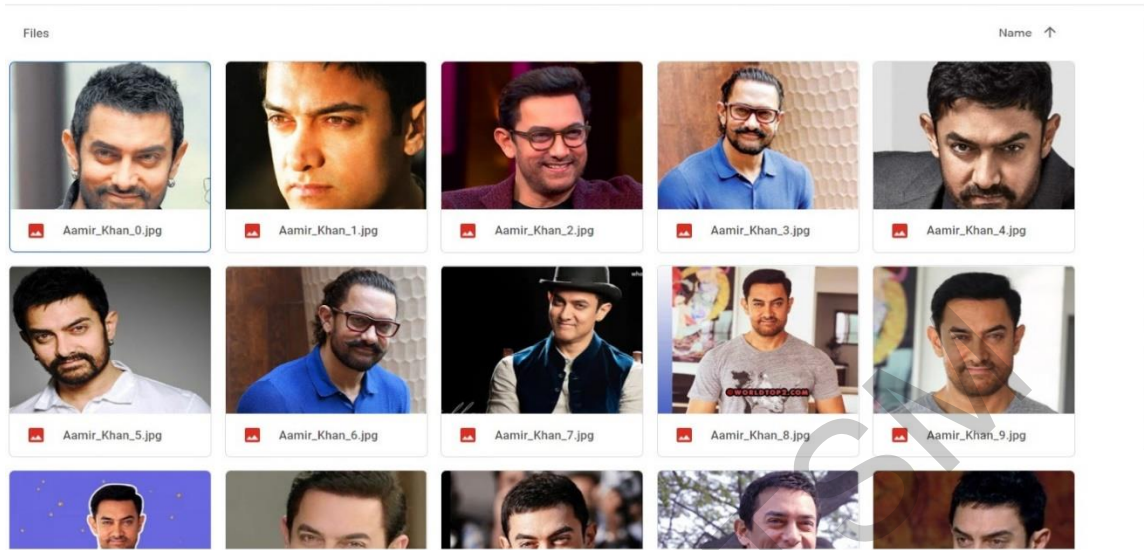
Sesetengah perisian adalah diperlukan untuk membina sistem pengecaman muka ini. Bahasa pembinaan yang akan digunakan adalah *python*. Persekitaran yang diperlukan untuk membangun sistem ini adalah *Google Colaboratory* dan *Scikit-learn*. Seterusnya, model yang digunakan untuk melatih proses pengecaman muka adalah menggunakan Rangkaian Neural Konvolusional (CNN) seperti *FaceNet* dan sebagainya.

4.3 Fasa Reka Bentuk

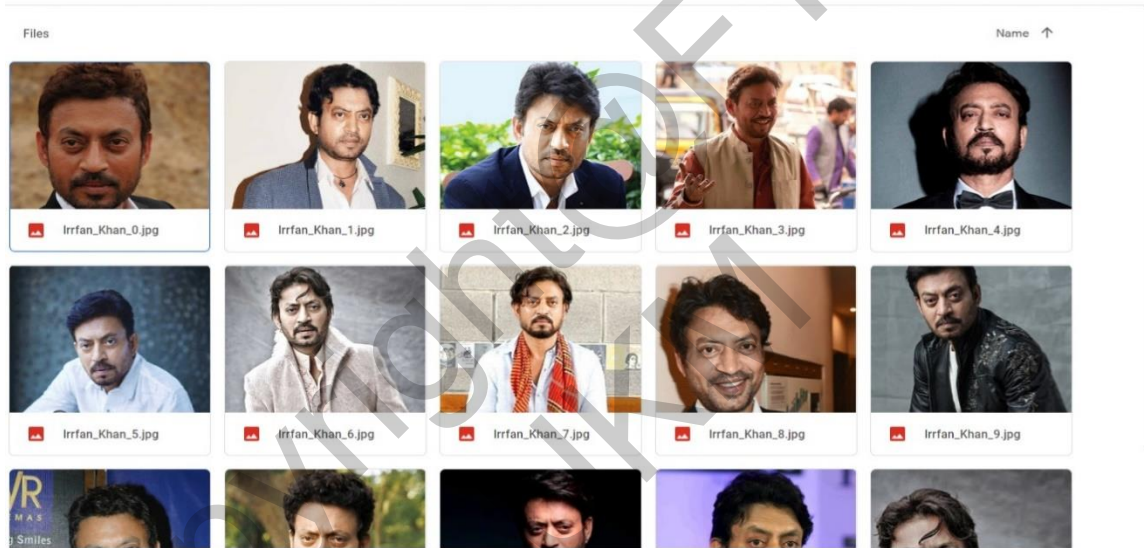
4.3.1 Reka Bentuk Pangkalan Data

Set data yang digunakan dalam projek ini adalah selebriti. Set data ini dipilih manual daripada *Bollywood Celebrity Faces Dataset*. Daripada pangkalan data ini 2000 gambar telah dipilih dan gambar-gambar ini mengandungi 100 orang selebriti. Gambar-gambar tersebut kemudian dibahagi kepada 1500 data latihan dan 500 data pengujian. Rajah 4 menunjukkan contoh gambar selebriti India yang digunakan.

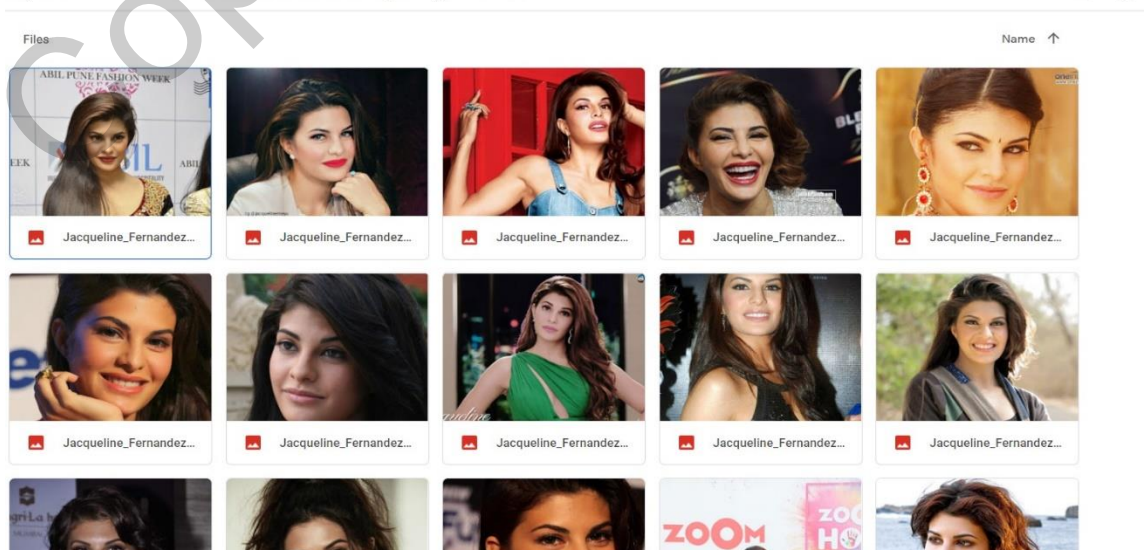
My Drive > ... > Indian-celebrities > Aamir_Khan



My Drive > ... > Indian-celebrities > Irrfan_Khan

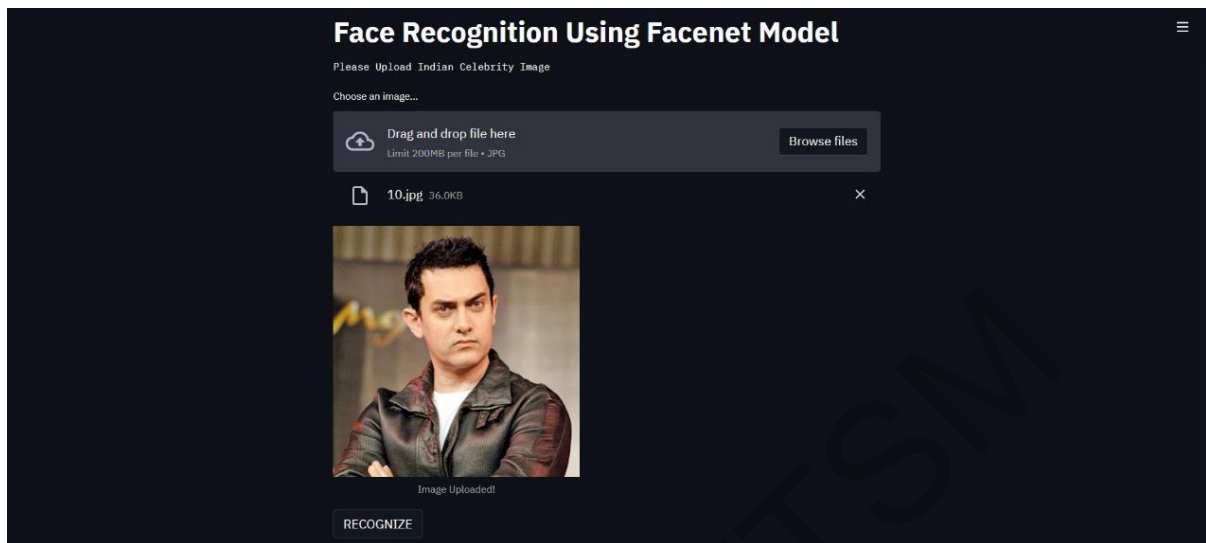


My Drive > ... > Indian-celebrities > Jacqueline_Fernandez



Rajah 4: Contoh gambar selebriti India yang digunakan

4.3.2 Reka Bentuk Antara Muka



Rajah 5: Antara Muka Sistem Pengecaman Muka

Rajah 5 menunjukkan antara muka sistem pengecaman muka. *Streamlit* akan digunakan untuk membangunkan antara muka ini. Antara muka ini memerlukan pengguna memasukkan gambar yang ingin dikesan dan kemudian menekan butang “*RECOGNIZE*”. Kemudian, pengguna akan mendapat nama dan maklumat orang yang dikesan sekiranya orang itu wujud dalam pangkalan data. Antara muka ini bertujuan untuk menjadikan proses pengecaman ringkas dan mesra pengguna.

4.3.3 Reka Bentuk Algoritma



Rajah 6: Carta Alir Algoritma Sistem Pengesanan Muka

Rajah 6 menunjukkan carta alir sistem pengesanan muka. Selepas input gambar selebriti India, gambar tersebut akan diproses untuk memotong kawasan yang mengandungi muka kepada saiz 160x160. Kemudian, gambar yang diproses dimasukkan ke dalam model *FaceNet* untuk mengekstrak ciri-ciri muka. Selepas itu, sistem akan membuat perbandingan dengan ciri-ciri yang berada di dalam pangkalan data. Akhir sekali, sistem akan output nama dan maklumat ringkas mengenai selebriti yang dikecam.

4.4 Fasa Pengujian

Terdapat beberapa cara untuk menjalankan pengujian terhadap model pengecaman muka yang dihasilkan. Model pengecaman muka yang dihasilkan dalam projek ini diuji dengan menggunakan cara matriks kekeliruan. Matriks kekeliruan adalah ringkasan hasil ramalan mengenai masalah klasifikasi. Bilangan ramalan yang betul dan salah diringkaskan dengan nilai kiraan dan dipecahkan oleh setiap kelas. Ini adalah kunci kepada matriks kekeliruan kerana matriks kekeliruan menunjukkan cara model klasifikasi anda keliru ketika membuat ramalan. Ini memberi anda gambaran bukan hanya mengenai kesalahan yang dibuat oleh pengelas anda, tetapi yang lebih penting adalah jenis kesalahan yang sedang dilakukan.

Berikut merupakan laporan klasifikasi dan rajah matriks kekeliruan:

Jadual 2: Laporan Klasifikasi

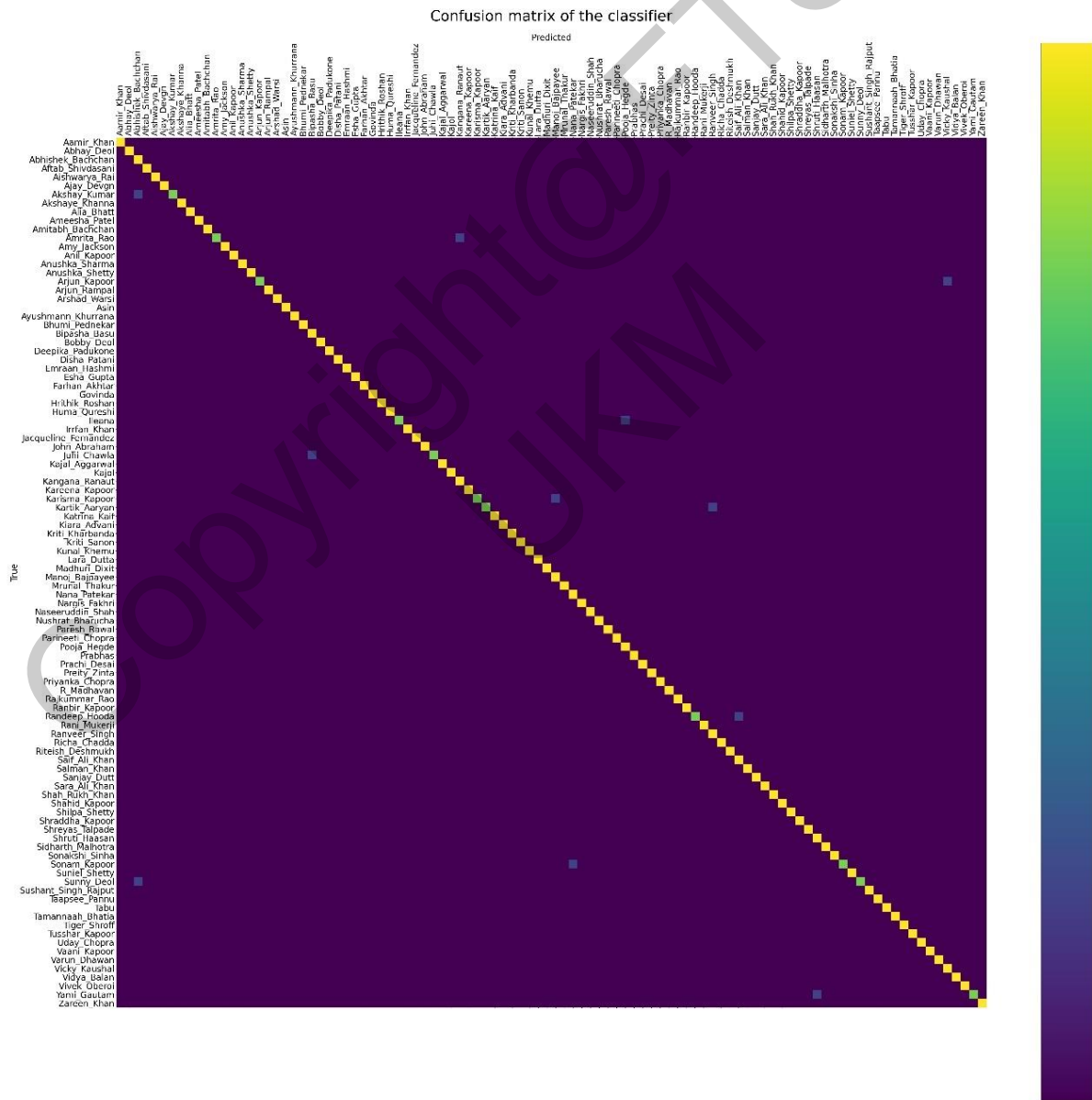
	precision	recall	f1-score	support
Aamir_Khan	1.00	1.00	1.00	5.00
Abhay_Deol	1.00	1.00	1.00	5.00
Abhishek_Bachchan	0.71	1.00	0.83	5.00
Aftab_Shivdasani	1.00	1.00	1.00	5.00
Aishwarya_Rai	1.00	1.00	1.00	5.00
Ajay_Devgn	1.00	1.00	1.00	5.00
Akshay_Kumar	1.00	0.80	0.89	5.00
Akshaye_Khanna	1.00	1.00	1.00	5.00
Alia_Bhatt	1.00	1.00	1.00	5.00
Ameesha_Patel	1.00	1.00	1.00	5.00
Amitabh_Bachchan	1.00	1.00	1.00	5.00
Amrita_Rao	1.00	0.80	0.89	5.00
Amy_Jackson	1.00	1.00	1.00	5.00
Anil_Kapoor	1.00	1.00	1.00	5.00
Anushka_Sharma	1.00	1.00	1.00	5.00
Anushka_Shetty	1.00	1.00	1.00	5.00
Arjun_Kapoor	1.00	0.80	0.89	5.00
Arjun_Rampal	1.00	1.00	1.00	5.00
Arshad_Warsi	1.00	1.00	1.00	5.00
Asin	1.00	1.00	1.00	5.00
Ayushmann_Khurrana	1.00	1.00	1.00	5.00
Bhumi_Pednekar	1.00	1.00	1.00	5.00

	precision	recall	f1-score	support
Bipasha_Basu	0.83	1.00	0.91	5.00
Bobby_Deol	1.00	1.00	1.00	5.00
Deepika_Padukone	1.00	1.00	1.00	5.00
Disha_Patani	1.00	1.00	1.00	5.00
Emraan_Hashmi	1.00	1.00	1.00	5.00
Esha_Gupta	1.00	1.00	1.00	5.00
Farhan_Akhtar	1.00	1.00	1.00	5.00
Govinda	1.00	1.00	1.00	5.00
Hrithik_Roshan	1.00	1.00	1.00	5.00
Huma_Qureshi	1.00	1.00	1.00	5.00
Ileana	1.00	0.80	0.89	5.00
Irrfan_Khan	1.00	1.00	1.00	5.00
Jacqueline_Fernandez	1.00	1.00	1.00	5.00
John_Abraham	1.00	1.00	1.00	5.00
Juhi_Chawla	1.00	0.80	0.89	5.00
Kajal_Aggarwal	1.00	1.00	1.00	5.00
Kajol	1.00	1.00	1.00	5.00
Kangana_Ranaut	0.83	1.00	0.91	5.00
Kareena_Kapoor	1.00	1.00	1.00	5.00
Karisma_Kapoor	1.00	0.80	0.89	5.00
Kartik_Aaryan	1.00	0.80	0.89	5.00
Katrina_Kaif	1.00	1.00	1.00	5.00
Kiara_Advani	1.00	1.00	1.00	5.00
Kriti_Kharbanda	1.00	1.00	1.00	5.00
Kriti_Sanon	1.00	1.00	1.00	5.00
Kunal_Khemu	1.00	1.00	1.00	5.00
Lara_Dutta	1.00	1.00	1.00	5.00
Madhuri_Dixit	1.00	1.00	1.00	5.00
Manoj_Bajpayee	0.83	1.00	0.91	5.00
Mrunal_Thakur	1.00	1.00	1.00	5.00
Nana_Patekar	0.83	1.00	0.91	5.00
Nargis_Fakhri	1.00	1.00	1.00	5.00
Naseeruddin_Shah	1.00	1.00	1.00	5.00
Nushrat_Bharucha	1.00	1.00	1.00	5.00
Paresh_Rawal	1.00	1.00	1.00	5.00
Parineeti_Chopra	1.00	1.00	1.00	5.00
Pooja_Hegde	0.83	1.00	0.91	5.00
Prabhas	1.00	1.00	1.00	5.00

	precision	recall	f1-score	support
Prachi_Desai	1.00	1.00	1.00	5.00
Preity_Zinta	1.00	1.00	1.00	5.00
Priyanka_Chopra	1.00	1.00	1.00	5.00
R_Madhavan	1.00	1.00	1.00	5.00
Rajkummar_Rao	1.00	1.00	1.00	5.00
Ranbir_Kapoor	1.00	1.00	1.00	5.00
Randeep_Hooda	1.00	0.80	0.89	5.00
Rani_Mukerji	1.00	1.00	1.00	5.00
Ranveer_Singh	0.83	1.00	0.91	5.00
Richa_Chadda	1.00	1.00	1.00	5.00
Riteish_Deshmukh	1.00	1.00	1.00	5.00
Saif_Ali_Khan	0.83	1.00	0.91	5.00
Salman_Khan	1.00	1.00	1.00	5.00
Sanjay_Dutt	1.00	1.00	1.00	5.00
Sara_Ali_Khan	1.00	1.00	1.00	5.00
Shah_Rukh_Khan	1.00	1.00	1.00	5.00
Shahid_Kapoor	1.00	1.00	1.00	5.00
Shilpa_Shetty	1.00	1.00	1.00	5.00
Shraddha_Kapoor	1.00	1.00	1.00	5.00
Shreyas_Talpade	1.00	1.00	1.00	5.00
Shruti_Haasan	0.83	1.00	0.91	5.00
Sidharth_Malhotra	1.00	1.00	1.00	5.00
Sonakshi_Sinha	1.00	1.00	1.00	5.00
Sonam_Kapoor	1.00	0.80	0.89	5.00
Suniel_Shetty	1.00	1.00	1.00	5.00
Sunny_Deol	1.00	0.80	0.89	5.00
Sushant_Singh_Rajput	1.00	1.00	1.00	5.00
Taapsee_Pannu	1.00	1.00	1.00	5.00
Tabu	1.00	1.00	1.00	5.00
Tamannaah_Bhatia	1.00	1.00	1.00	5.00
Tiger_Shroff	1.00	1.00	1.00	5.00
Tusshar_Kapoor	1.00	1.00	1.00	5.00
Uday_Chopra	1.00	1.00	1.00	5.00
Vaani_Kapoor	1.00	1.00	1.00	5.00
Varun_Dhawan	1.00	1.00	1.00	5.00
Vicky_Kaushal	0.83	1.00	0.91	5.00
Vidya_Balan	1.00	1.00	1.00	5.00
Vivek_Oberoi	1.00	1.00	1.00	5.00

	precision	recall	f1-score	support
Yami_Gautam	1.00	0.80	0.89	5.00
Zareen_Khan	1.00	1.00	1.00	5.00
accuracy	0.98	0.98	0.98	0.98
macro avg	0.98	0.98	0.98	500.00
weighted avg	0.98	0.98	0.98	500.00

Jadual 2 menunjukkan laporan klasifikasi.



Rajah 7: Matriks Kekeliruan

Rajah 7 menunjukkan matriks kekeliruan. Berdasarkan laporan klasifikasi dan matriks kekeliruan, ketepatan model pengecaman muka adalah 98%.

5 HASIL KAJIAN

Hasil kajian ini adalah satu aplikasi web yang boleh digunakan untuk mengecam muka selebriti India yang berada di dalam pangkalan data. Rajah 8 menunjukkan hasil aplikasi web bagi kajian ini.



Rajah 8: Aplikasi Web Sistem Pengecaman Muka

Aplikasi web ini mempunyai satu butang “*Browse files*” yang membolehkan pengguna memuat naik gambar yang ingin dikecam. Selain itu, aplikasi web ini juga mempunyai satu butang “*RECOGNIZE*” yang boleh ditekan oleh pengguna untuk mengecam muka dalam gambar yang dimuat naik. Selepas menekan butang tersebut, nama dan ringkasan maklumat mengenai selebriti India yang dikecam akan dipaparkan. Secara keseluruhan, ketepatan model ini adalah amat tinggi iaitu sebanyak 98%.

6 KESIMPULAN

Kesimpulannya, model pengecaman muka menggunakan pembelajaran mendalam yang diselia, *FaceNet*, dapat dibangunkan untuk memenuhi skop dan objektif kajian yang ditentukan. Pada masa depan, batasan dan cadangan peningkatan dalam kajian ini diharapkan dapat menjadi panduan untuk menghasilkan model yang lebih efektif dan mempunyai ketepatan yang tinggi.

7 RUJUKAN

- Sharif, Muhammad & Naz, Farah & Mussarat, Yasmin & Shahid, Muhammad & Rehman, Amjad. (2017). Face Recognition: A Survey. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 10. 166-177. 10.25103/jestr.102.20.
- Khan, Suleman & Javed, M. & Ahmed, Ehtasham & Shah, Syed & Ali, Umaid. (2019). Facial Recognition using Convolutional Neural Networks and Implementation on Smart Glasses. 1-6. 10.1109/CISCT.2019.8777442.
- F. Schroff, D. Kalenichenko and J. Philbin, "FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering," 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, MA, 2015, pp. 815-823, doi: 10.1109/CVPR.2015.7298682.
- Coursera. <https://www.coursera.org/learn/machine-learning> [25 September 2019].
- I. William, D. R. Ignatius Moses Setiadi, E. H. Rachmawanto, H. A. Santoso and C. A. Sari, "Face Recognition using FaceNet (Survey, Performance Test, and Comparison)," 2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), Semarang, Indonesia, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIC47613.2019.8985786.
- V. Sharma, D. Soni and D. Srivastava, "Filtration Based Noise Reduction Technique in an Image," 2019 4th International Conference on Internet of Things: SmartInnovation and Usages (IoT-SIU), Ghaziabad, India, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777623.

Towardsdatascience. <https://towardsdatascience.com/s01e01-3eb397d458d> [13 May 2019].

Medium. <https://medium.com/analytics-vidhya/facenet-architecture-part-1-a062d5d918a1> [4 April 2019].

Machine Learning Mastery. <https://machinelearningmastery.com/how-to-develop-a-face-recognition-system-using-facenet-in-keras-and-an-svm-classifier/> (7 Jun 2019)

Medium. <https://medium.com/cliq-org/how-to-create-a-face-recognition-model-using-facenet-keras-fd65c0b092f1> (10 Julai 2020)

Streamlit. <https://streamlit.io/>

Towardsdatascience. <http://towardsdatascience.com/how-to-use-streamlit-to-create-web-applications-218af44064f5> (15 April 2020).

Manliguez, Cinmayii. (2016). Generalized Confusion Matrix for Multiple Classes. 10.13140/RG.2.2.31150.51523.

Copyright @ FTSM
UKM