

Массунда Жуниор Фернандо Эрнесто (Мозамбик)

Томский Политехнический Университет, г. Томск

Научный руководитель: Глазырина Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРИК ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ВСТРАИВАНИЙ (ЭМБЕДДИНГОВ) В КОНТЕКСТЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

Аннотация: В данной работе рассматриваются способы повышения эффективности системы распознавания лиц. Анализируются различные метрики для сравнения эмбеддингов и их интерпретации, чтобы установить критерии выбора подходящей метрики для конкретного приложения или задачи.

Ключевые слова: система распознавания лиц, эмбеддинги, метрики сравнения эмбеддингов.

Введение

В настоящее время одним из способов обеспечения безопасного доступа к физическим или виртуальным объектам, средам или помещениям являются биометрические технологии, среди которых особое место занимает распознавание лиц. Распознавание лиц имеет множество применений, особенно из-за уровня безопасности, который оно обеспечивает, однако для достижения высокого уровня аккуратности необходимо уделять внимание каждой составляющей части системы распознавания лиц и сделать оптимальный выбор метода, модели или метрики, которые будут составлять систему. Актуальность работы заключается в исследовании влияния метрик сравнения встраиваний (эмбеддинги) на эффективность системы распознавания, поскольку этап сравнения встраиваний играет важную роль при распознавании лиц, гарантируя его надежность. Метрика напрямую влияет на работоспособность, точность и эффективность системы распознавания лиц, поэтому некорректный выбор метрики сравнения встраиваний может привести к неправильному распознаванию лиц, что негативно влияет на безопасность при выполнении задачах идентификации и верификации.

Основная часть

Система распознавания лиц

Система распознавания лиц разделена на пять основных этапов: обнаружения лица, предварительной обработки, извлечения черт лица, сравнения встраиваний черт лица и распознавания лица, как представлено на рисунке 1. На этапе обнаружения лиц основной задачей является их детекция на статичных изображениях и видео. Для этого используется метод HOG (Histogram of Oriented Gradients), который анализирует ориентацию и интенсивность градиентов для обнаружения объектов, в данном случае лиц [1]. Далее выполняется предварительная обработка изображений, включая преобразование в оттенки

серого, изменение размера, сглаживание, выравнивание лиц, аугментацию и нормализацию освещения. Предварительная обработка значительно улучшает точность извлечения ориентиров, которое является следующим этапом. Ориентиры (Landmarks) подразумевают точки, описывающие важные черты лица, такие как глаза, нос, рот, брови и контур подбородка [2]. На основе ориентиров составляются встраивания черт лиц для сравнения и измерения сходства лиц.

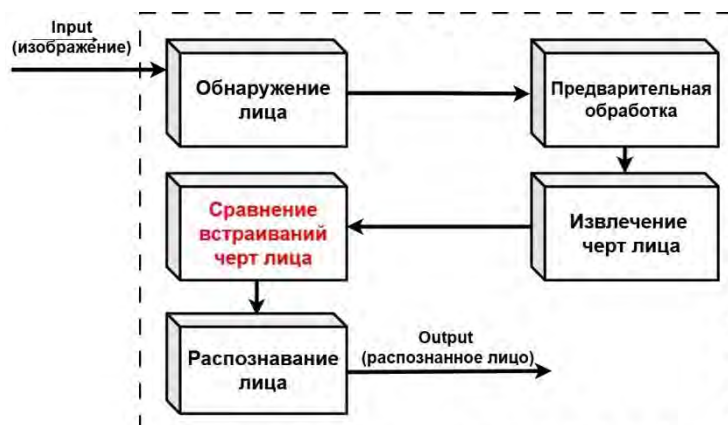


Рис. 1. Система распознавания лиц

В контексте распознавания лиц встраивания черт лица представляют собой эмбединги (от англ. «embeddings»), что подразумевает способ представления данных, в данном случае лица, в виде векторов в многомерном пространстве. То есть эмбединги являются векторами, состоящим из ориентиров, описывающих черты лица.

Метрики сравнения эмбедингов лиц

В работе рассмотрены четыре метрики, а именно Евклидово расстояние, косинусное расстояние, манхэттенское расстояние и расстояние Чебышева. Оценка эмбедингов евклидовым расстоянием основывается на прямом расстоянии между двумя точками в многомерном пространстве [3, 4]. Чем меньше значение евклидова расстояния, тем больше сходство между лицами. Косинусное расстояние оценивает угол между эмбедингами, представляющими лица, и измеряет схожесть их направлений. Чем меньше угол между векторами эмбедингов, тем лица более схожи. Манхэттенское расстояние измеряет сумму абсолютных разностей между соответствующими координатами векторов [5, 6]. Меньшее значение этого расстояния указывает на большую схожесть. Расстояние Чебышева оценивает максимальное различие между соответствующими координатами векторов [6], и как у других метрик, чем меньше его значение, тем лица обладают более аналогичными чертами.

Результаты исследования

Задача исследования состоит в сравнении эмбедингов черт текущего лица с эмбедингами лиц в базе данных. Для осуществления данной задачи выбраны четыре лица, два из которых принадлежат близнецам, исходя из того, что зада-

ча идентификации близнецов для человека является сложной. На первом этапе выполнения поставленной задачи осуществляется генерация эмбеддингов для каждого лица, как показано на рисунке 2. После генерации вычисляется расстояние между эмбеддингами текущего лица относительно тех, которые в базе данных, с использованием метрик сравнения. Результаты сравнения представлены в таблицы 1. Так же вычисляется относительная погрешность, по формуле:

$$\Delta = \frac{|X - \bar{X}|}{\bar{X}} \times 100 \%, \quad (1)$$

где X – истинное значение (минимальное; для косунусного-максимальное), $\bar{X}$ – эталонное значение (среднее).



Рис. 2. Процесс генерации эмбеддинга лица: а) детекция и распознавание лица; б) сгенерированный эмбеддинг

Заключение

На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что все проанализированные метрики смогли идентифицировать правильное лицо, то есть, были успешны в задаче расчета сходства. Однако, при выборе какую метрику применять в системе распознавания лиц, выделяем два критерия: относительная погрешность и интерпретируемость. В данном исследовании рассчитана относительная погрешность наиболее вероятного сходства по отношению к среднему значению. Это измерение позволяет оценить, на какой процент наиболее вероятное сходство отличается от среднего, то есть, согласно определенной метрике, на какой процент распознанное лицо отличается от других.

Таблица 1

Сравнение метрик измерения расстояние между эмбеддингами лиц

Лица для распознавания	Лица в базе данных	Метрики сравнения			
		Евклидово расстояние (d_E)	Косинусное расстояние ($\cos \theta$)	Манхэттенское расстояние (d_M)	Расстояние Чебышева (d_C)
Лицо 1	Лицо 1	0.411616	0.951361	3.566963	0.106931
	Лицо 2	0.891405	0.788841	7.965637	0.219177

	Лицо 3	0.923621	0.777267	8.511838	0.208510
	Лицо 4	0.886718	0.797928	8.075006	0.209587
$\Delta_{min}, \%$		47,116170	14,780944	49,259836	42,526051
Лицо 2	Лицо 1	0.880246	0.799345	7.667777	0.200509
	Лицо 2	0.526945	0.931707	4.923001	0.127068
	Лицо 3	0.701620	0.880256	6.582241	0.170342
	Лицо 4	0.717339	0.876097	6.738618	0.186114
$\Delta_{min}, \%$		25,418679	6,865362	24,003242	25,694812
Лицо 3	Лицо 1	0.857218	0.802783	7.721945	0.225599
	Лицо 2	0.824755	0.827766	7.304550	0.199556
	Лицо 3	0.380718	0.964001	3.621181	0.081788
	Лицо 4	0.456766	0.948886	4.287844	0.123931
$\Delta_{min}, \%$		39,555547	8,821042	36,845887	48,143052
Лицо 4	Лицо 1	0.951598	0.768338	8.797087	0.181023
	Лицо 2	0.774264	0.854144	7.341024	0.179313
	Лицо 3	0.400523	0.961520	3.586590	0.084799
	Лицо 4	0.246341	0.985561	2.302864	0.053893
$\Delta_{min}, \%$		58,471226	10,440521	58,182141	56,801622

Таким образом, если процентное значение определенной метрики по сравнению с другими метриками велико, это означает, что данная метрика лучше идентифицирует лицо и вероятность ошибки или путаницы с другими лицами минимальна. Вторым критерием, который следует учитывать, является интерпретируемость. Согласно этому критерию, евклидово расстояние позволяет осуществлять более тривиальную интерпретацию, в то время как расстояние Чебышева несмотря на то, что предлагает более приемлемые значения относительной погрешности, сложно интерпретируется в многомерном пространстве. Евклидово расстояние лучше удовлетворяет установленным критериям, поэтому его применение в системе распознавания лиц является более целесообразным. Однако необходимо обеспечить, чтобы размерность векторов всегда была одинаковой. Если нет гарантии получения одинаковой размерности векторов эмбедингов, лучше использовать косинусное расстояние, так как оно учитывает угол между векторами.

Список литературы

1. Machine Learning is Fun! Part 4: Modern Face Recognition with Deep Learning = Машинное обучение – это весело! Часть 4. Современное распознавание лиц с помощью глубокого обучения [Электронный ресурс] //medium.com – URL: <https://medium.com/@ageitgey/machine-learning-is>

- fun-part-4-modern-face-recognition-with-deep-learning-c3cffc121d78 (Дата обращения 07.01.2025);
2. Face Detection and Landmarks using dlib and OpenCV = Обнаружение лиц и ориентиры с использованием dlib и OpenCV [Электронный ресурс]// medium.com – URL: <https://vigneshs4499.medium.com/face-detection-and-landmarks-using-dlib-and-opencv8c824f50cc78>; (Дата обращения 09.01.2025);
 3. Ahdid R., Taifi K., Said S., Bouzid M. Euclidean & Geodesic Distance between a Facial Feature Points in Two-Dimensional Face Recognition System/ R. Ahdid, K. Taifi, S. Said, M. Bouzid – Текст: электронный// научный электронный журнал: ResearchGate – URL: https://www.researchgate.net/publication/311924096_Euclidean_Geodesic_Distance_between_a_Facial_Feature_Points_in_Two-Dimensional_Face_Recognition_System (Дата обращения 22.01.2025);;
 4. Dhavalikar A. S., Kulkarni R. K. Facial Expression Recognition Using Euclidean Distance Method/ A.S. Dhavalikar, R.K Kulkarni R – Текст : электронный//научный электронный журнал: ResearchGate – URL: https://www.researchgate.net/publication/286353466_Facial_Expression_Recognition_Using_Euclidean_Distance_Method (Дата обращения 10.02.2025);;
 5. Manhattan Distance Calculator = Калькулятор расстояний Манхэттен [Электронный ресурс]// omnicalculator.com – URL: <https://www.omnicalculator.com/math/manhattan-distance> (Дата обращения 14.02.2025);
 6. Евклидова, L1 и Чебышёва – 3 основные метрики, которые пригодятся в Data Science [Электронный ресурс]// URL: <https://tproger.ru/translations/3-basic-distances-in-data-science> (Дата обращения 09.02.2025)

Массунда Жуниор Фернандо Эрнесто (Мозамбик)

Томский Политехнический Университет, г. Томск

Научный руководитель: Глазырина Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доцент

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ

Аннотация: В данной работе представлена разработка системы контроля доступа к помещениям с повышенным уровнем безопасности. Представлена структура разработанной системы и их программные и аппаратные составляющие. Приведены результаты тестирования разработанной системы с целью ана-