**Исследование возможностей классификации эмоций в невербальном речевом поведении на различных наборах данных**

**ВАЖНОЕ ЗАМЕЧАНИЕ! На этапе написания текста, библиографические ссылки на источники лучше оставлять прямо в тексте, как это показано далее. Оформление списка литературы производится на самом последнем этапе работы со статьей. В этом случае, не возникает путаницы с нумерацией в случае, если какая-то ссылка будет удалена на этапе редакции, а также сохраняется порядок следования ссылок. Так, например, на этапе коррекции введения исчезают ссылки под номерами 1 и 3.**

**Обрати внимание на цель, которая сформулирована в конце введения. На ее основании нужно сделать выводы и обобщения по результатам экспериментов – надо построить визуализации и для разбиения датасета множества классов, и для бинарного разбиения. Затем надо сделать небольшие выводы по группировке элементов. Например, данные группируются по классам, или группируются в одну большую группу, или группируются не по классам. Затем надо сравнить результаты классификации с группировкой. Например, данные группируются плохо, а результат классификации такой-то. Или данные группируются по классам, а результат классификации такой-то.**

**Аннотация**

**Ключевые слова:** эмоциональные вычисления, распознавание эмоций, визуализация многомерных данных

**1. Введение**

Распознавание эмоций человека является важной и актуальной задачей ввиду активного развития и расширения систем человеко-машинного взаимодействия, цифровых систем коммуникации и обеспечения совместной деятельности людей: систем электронной коммерции, человеко-машинных интерфейсов, социо-киберфизических систем, систем Интернета вещей, видеоконференцсвязи и т.д. При использовании таких систем могут происходить нежелательные ситуации, связанные с конфликтами и деструктивным поведением людей. В таких ситуациях особенно важной становится оценка эмоционального состояния пользователей, которое является важнейшим предиктором поведения человека.

Эмоции человека являются «сложными психическими процессами и состояниями, связанными с инстинктами, потребностями, мотивами и отражающих в форме непосредственного переживания (удовлетворения, страха, радости и т.д.) значимость действующих на индивидазначимость действующих на индивида явлений и ситуаций для осуществления его жизнедеятельности. Сопровождая практически любые проявления активности субъекта, эмоции служат одним из главных механизмов внутренней регуляции психической деятельности и поведения, направленных на удовлетворение актуальных потребностей» [Вилюнас В. К. Эмоции [элетронный ресурс] // Большой психологический словарь/под общ. ред. Б.Г. Мещерякова, В.П. Зинченко <https://psychological.slovaronline.com/2078-EMOTSII> (дата обращения хх.хх.2020)]. В структуру эмоций человека входят следующие компоненты: импрессивная (субъективное переживание эмоции), когнитивная компонента (связанные с эмоцией представления, мысли, установки, осознаваемый опыт), физиологическая (биохимические изменения, изменения в работе внутренних органов, изменения в работе центральной и периферической нервной системы), поведенческая или моторная компонента, которая, в том числе служит для экспрессивной функции эмоций. Ввиду того, что физиологическая и поведенческая компоненты могут быть внешне измеряемыми и наблюдаемыми, они представляют особый интерес для исследований в области автоматического распознавания эмоций человека. При этом, анализ поведенческой экспрессии эмоций человека можно анализировать на расстоянии без непосредственного участия человека, в то время как методы, основанные на физиологической компоненте, требуют непосредственного участия человека в изменениях, высоких временных и трудовых затрат на измерения со стороны испытуемых и экспериментаторов, а также наличия дорогостоящего оборудования для проведения измерений. Экспрессивная компонента эмоций может быть представлена в различных модальностях: мимические выражения, поза и двигательная активность тела субъекта, невербальное речевое поведение, вербальное речевое поведение. Наряду с другими модальностями, невербальное речевое поведение может быть использовано для автоматического опосредованного распознавания эмоций человека. При этом, распознавание на основе этой модальности становится особенно актуальным в случае недостатка или отсутствия данных других модальностей, а также в моделях, методах и системах многомодального распознавания эмоций.

Современные модели, методы и системы распознавания эмоций человека основываются, в основном, на концепции базовых эмоций – выделении некоторого набора элементарных эмоций, не сводимых к другим [Ortony, Andrew & Turner, Terence. (1990). What's Basic About Basic Emotions?. Psychological review. 97. 315-31. 10.1037/0033-295X.97.3.315.]. Данная концепция принимается в качестве основания для категоризации данных для выполнения дальнейшей классификации системами автоматического распознавания эмоций. Некоторыми исследователями невербальное речевое поведение считается основанием для выделения базовых эмоций [Scherer K. R. Vocal affect expression: A review and a model for future research //Psychological bulletin. – 1986. – Т. 99. – №. 2. – С. 143.][Scherer K. R., Johnstone T., Klasmeyer G. Vocal expression of emotion //Handbook of affective sciences. – 2003. – С. 433-456.][Banse R., Scherer K. R. Acoustic profiles in vocal emotion expression //Journal of personality and social psychology. – 1996. – Т. 70. – №. 3. – С. 614.]. Наборы данных [!!!!], использующие разметку, основанную на концепции базовых эмоций, однако, могут содержать в себе различный набор классов эмоций, использующихся для категоризации данных. Это может быть обусловлено несколькими причинами: применение различных оснований для выделения базовых эмоций, не достаточная представленность той или иной эмоции в наборах, не согласованность при разметке данных экспертами и т.д. Не однородность наборов данных ставит важнейшую научную задачу сравнительного исследования различных алгоритмов классификации на большом наборе различных наборов данных, содержащих в себе невербальные проявления эмоций человека в речи.

Стоит также особо отметить, что в некоторых специфических задачах на первый план выходят вопросы переразметки известных наборов данных на другие категории. Так, в задаче выявления агрессивного поведения людей, на передний план выходит выявление негативных эмоций, которые обычно сопровождают проявления агрессии [!!!!!]. Такая переразметка может быть выполнена простым отнесениям экземпляров того или иного класса эмоций к более общей категории – негативные эмоции и остальные эмоции, к которым относят позитивные и нейтральные эмоции. Так, к негативным эмоциям обычно относят гнев, печаль, отвращение, страх, а к остальным – счастье, волнение, скука, удивление, нейтральную эмоцию. Не смотря на всю свою простоту и очевидность, данному подходу уделяется недостаточно внимания в современной научной литературе.

Наряду с обозначенными выше проблемами, стоит также уделить внимание проблеме оценки данных на предмет их группировки в том или ином признаковом пространстве. Такая задача может быть выполнена при помощи различных процедур проекции данных, представленных в признаковом пространстве большой размерности, в признаковое пространство малой размерности с последующей визуализацией данных в этом пространстве. Это позволяет выполнить предварительную качественную оценку данных на предмет их применимости в задаче классификации.

Целью данной работы является выполнение визуализации и качественной оценке данных, содержащих невербальные речевые проявления эмоций человека для различных наборов данных, а также выполнение исследования результатов классификации, полученных на этих наборах. При этом, и визуализация, и классификация выполняются на основании двух способов категоризации данных, обозначенных выше, – использование классов, представленных в наборе денных по умолчанию, а также разбиение на два класса эмоций – негативные и остальные.

Статья организована следующим образом: обзор литературы и методов решения задачи приведен в разделе 2. В разделе 3, мы описываем выбранные нами подходы к визуализации и классификации. В разделе 4 представлены описания и результаты экспериментов, их интерпретация и обсуждение – в разделе 5. В разделе 6 мы подводим итоги работы и намечаем вектор дальнейшего исследования.

**2. Обзор литературы**

Решение любой задачи машинного обучения подразумевает определение некоторого набора признаков, извлекаемого из объектов классификации. В данном случае объектом классификации является звуковая запись человеческой речи. Наиболее распространенным является эвристический подход: извлечение множества параметров из акустического сигнала с последующей конкатенацией их в признаковый вектор. Наиболее часто авторы используют просодические характеристики (тон, энергия, амплитуда) [4], однако одних лишь просодических признаков зачастую бывает недостаточно. К более сложным признакам относятся частоты основных формант [5], мел-кепстральные частотные коэффициенты (MFCC) [6], коэффициенты линейного предсказания (LPC)[7]. Одним из state-of-the-art методов является построение спектрограмм, что сводит задачу к классификации изображений [8]. Распространенной практикой является применение статистических функций (среднее, минимум, максимум) и оценка значений производных.

Результатом работы авторов [9][10] стал инструмент OpenSMILE, позволяющий извлекать широкий спектр параметров звукового сигнала, а также применять различные функции к этим параметрам. Благодаря этому, появились наборы параметров, которые могут быть легко извлечены с помощью этого инструмента. К этим наборам относятся как очень большие, как, например, стандартные наборы признаков для конференций INTERSPEECH, содержащие более 5000 элементов [11], так и попытки унифицировать признаковое пространство для задач аффективных вычислений [12].

Выбор классификатора – также важный этап в решении задачи. Среди исследований наиболее популярны такие классификаторы, как машины опорных векторов [13], алгоритм k ближайших соседей [14], классификация с использованием скрытых марковских моделей [15] или нейронных сетей [16].

Наиболее прогрессивными и эффективными на данный момент являются так называемые end-to-end подходы, которые работают непосредственно с дискретизированным аудиосигналом в формате WAV и в которых предобработка, извлечение релевантных признаков и классификация объединены в единый «черный ящик». Для таких подходов обычно используются сверточные глубокие нейронные сети[17], трансферное обучение[18], сети долгой краткосрочной памяти (LSTM)[19].

Для визуализации многомерных данных наиболее часто используются алгоритмы снижения размерности, среди которых анализ главных компонент [20], линейный дискриминантный анализ [21], алгоритм t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE)[22].

**3. Методология**

3.1. Извлекаемые признаки

!!!!

Нами выбран набор признаков Extended Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (eGeMAPS), поскольку данный набор - попытка стандартизации параметров, используемых в эмоциональных вычислениях [12]. eGeMAPS содержит 88 параметров звукового сигнала, среди которых: статистические функции от основной частоты и амплитуды, мел-кепстральные коэффициенты (MFCC) 1-4, приближенная оценка количества слов в секунду. Эти параметры наиболее полно отражают основные акустические признаки эмоций [ссылка]. Также положительной особенностью данного набора параметров является независимость размерности итогового признакового вектора от длительности звукового сигнала. Признаки извлекаются с помощью инструмента OpenSMILE.

3.2. Алгоритм классификации

В качестве классификатора был выбран алгоритм k ближайших соседей, который определяет класс объекта путем определения класса большинства объектов из числа k ближайших соседей объекта . Для оценки расстояния между объектами в kNN-алгоритме могут использоваться различные меры расстояния, такие как евклидова мера, манхэттенская мера, косинусная мера и др [23].

3.3. Предобработка данных

Выбранный алгоритм классификации основан на оценке евклидового расстояния между векторами признаков, поэтому требует симметричного и унимодального распределения данных. В связи с этим, все векторы признаков были подвергнуты нормализации по двум методам с целью сравнения влияния на качество классификации: *i)* Нормализация по методу мин-макса: линейное преобразование данных в диапазоне от 0 до 1; *ii)* z-нормализация: масштабирование данных на основе среднего значения и стандартного отклонения.

3.4. Визуализация многомерных данных

Чтобы получить представление о распределении данных в признаковом пространстве, использован алгоритм уменьшения размерности t-SNE. Он является одним из самых распространенных методов визуализации многомерных данных. Суть данного метода заключается в проекции данных больших размерностей в пространства, обладающие меньшей размерностью, с сохранением расстояний между экземплярами данных, близко расположенных друг относительной друга. Это позволяет позволяет группировать однородные данные в пространствах малой размерности. Полученные таким образом визуальные представления отражают взаимное расположение данных различных классов и позволяют предварительно оценивать обрабатываемые данные на возможность применения их для дальнейшей классификации.

**4. Эксперименты**

4.1. Использованные наборы данных

!!!!!!!

Имеющиеся в нашем распоряжении наборы данных см. в Таблице 1. Здесь и далее приняты следующие сокращения для базовых эмоций: ANG - Anger (гнев); HAP - Happiness (радость); SAD - Sadness (печаль); NEU - Neutral (нейтральная эмоция); DIS - Disgust (отвращение); FEA - Fear (страх); BOR - Boredom (скука); SUR - Surprise (удивление); EXC - Excitement (возбуждение); FRU - Frustration (негодование); CAL - Calm (спокойствие).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | Базовые эмоции | N записей | Язык |
| IEmoCap[24] | ANG, HAP, SAD, NEU, EXC, FRU | 7304 | Англ. |
| CREMA-D[25] | ANG, HAP, SAD, NEU, DIS, FEA | 7442 | Англ. |
| Emo-DB[26] | ANG, HAP, SAD, NEU, DIS, FEA, BOR | 535 | Нем. |
| RAVDESS[27] | ANG, HAP, SAD, NEU, DIS, FEA, SUR, CAL | 1440 | Англ. |
| SAVEE[28] | ANG, HAP, SAD, NEU, DIS, FEA, SUR | 480 | Англ. |
| TESS[29] | ANG, HAP, SAD, NEU, DIS, FEA, SUR | 2798 | Англ. |

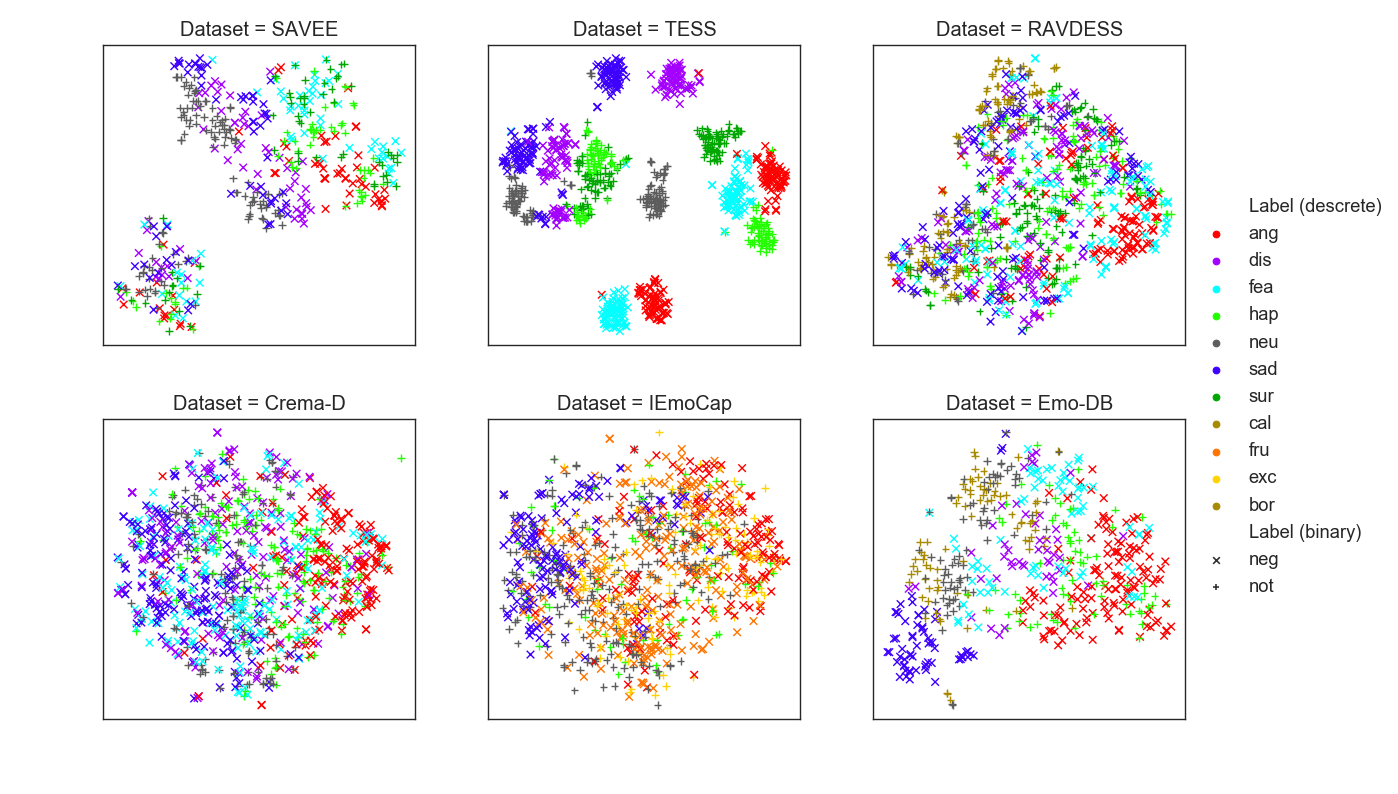
Таблица 1. Наборы данных, подлежащие исследованию.

Задача распознавания эмоций по голосу осложнена отсутствием единой методики составления размеченных наборов данных. Наборы данных, доступные для исследовательских целей, значительно отличаются друг от друга качеством записи, количеством дикторов и представленными базовыми дискретными эмоциональными категориями. В связи с этим, приняты решения:

* 1. Для каждого набора данных провести многоклассовую классификацию. Сравнить результаты, сопоставить их с визуализациями.
  2. Для каждого набора данных провести бинарную классификацию негативной эмоциональной окраски по стратегии «один против остальных». Для этого добавить в каждый из наборов данных вторую разметку: NEG (Negative) – Негативная эмоция, REST – остальные эмоциональные состояния. Категории ANG, SAD, FRU, DIS, FEA отнести к негативным эмоциям, HAP, EXC, NEU, BOR, SUR, CAL – к остальным; Проанализировать результаты бинарной классификации, сопоставить с результатами t-SNE.
  3. Путем слияния всех наборов данных на английском языке, получить обобщенный набор данных English Assembly, содержащий 19462 образца и произвести попытку как мультиклассовой, так и бинарной классификации. При этом, для мультиклассовой классификации принято решение ограничиться образцами, помеченными шестью самыми распространенными базовыми эмоциями: ANG, HAP, DIS, FEA, NEU, SAD. В случае же бинарной классификации, используются все образцы.

4.2. Визуализация распределения данных в признаковом пространстве.

Мы используем библиотеку *ScikitLearn* [30], в которой имеется имплементация алгоритма t-SNE. Чтобы не перегружать визуализации и не усложнять работу алгоритма, количество подаваемых на вход алгоритма образцов данных было сокращено до случайной выборки, состоящей из 1000 образцов с сохранением пропорций распределения классов эмоций. Использованные нами параметры подобраны исходя из соображений, описанных в [31]: *n\_components=2*, *n\_iter=5000*; *learning\_rate=0.1*; *early\_exaggeration=2*. Параметр perplexity варьировался от 5 до 75, таким образом, было получено по 70 визуализаций для каждого набора данных, из которых было выбрано по одной наиболее удачной. Эти визуализации представлены на рисунках.

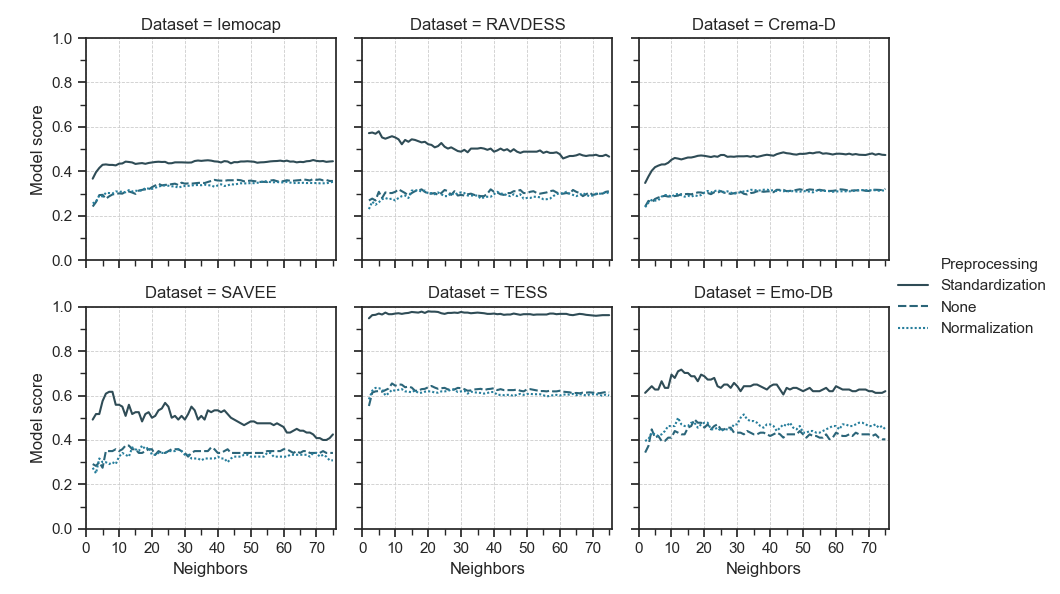


!!!!!!

!!!!!!

4.3. Классификация.

Для классификации также используется библиотека *ScikitLearn*, имеющая в своем составе алгоритм *KNeighborsClassifier*. Для экспериментов нами были использованы параметры этого алгоритма по умолчанию, кроме отвечающего за количество ближайших соседей *k*. Этот параметр варьировался от 2 до 75. Данные были предварительно разбиты на обучающую и тестовую выборку в пропорции 7:3, с сохранением пропорций распределения эмоциональных классов. В качестве метрики качества классификации выбрана  - средняя точность предсказания на тестовой выборке, вычисляемая по формуле , где *TP* (True Positive rate), *TN* (True Negative rate), *FP* (False Positive rate), *FN* (False Negative rate) – соответственно количества истинно-положительных, истинно-отрицательных, ложно-положительных и ложно-отрицательных предсказаний модели. Таким образом,  представляет собой отношение количества правильно классифицированных моделью объектов к общему количеству объектов. На рисунках изображены зависимости  от *k* для данных без предобработки, с мин-макс нормализацией и с Z-нормализацией. Лучшие результаты мультиклассовой и бинарной классификации представлены в Таблице 2, графики зависимости от *k* в случае мультиклассовой классификации представлены на рисунках.



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Набор данных | Мультиклассовая | | Бинарная | |
| *k* |  | *k* |  |
| IEmoCap | 69 | 0,45 | 25 | 0,66 |
| Crema-D | 55 | 0,49 | 39 | 0,75 |
| Emo-DB | 13 | 0,72 | 27 | 0,86 |
| RAVDESS | 5 | 0,58 | 7 | 0,78 |
| SAVEE | 7 | 0,62 | 11 | 0,68 |
| TESS | 20 | 0,98 | 9 | 0,99 |
| English Assembly | 17 | 0,60 | 13 | 0,73 |

Таблица 2. Результаты классификации.

Также для облегчения интерпретации результата классификации и визуализаций распределения, на каждом наборе данных были построены матрицы ошибок лучшего классификатора. Они представлены на рисунках.

**5. Интерпретация и обсуждение результатов.**

По результатам классификации видно, что в подавляющем большинстве случаев, у алгоритма k ближайших соседей в случае мультиклассовой классификации не возникает проблем с распознаванием гнева, также достаточно уверенно распознается печаль и нейтральная эмоциональная окраска. Это видно также на визуализациях t-SNE, где образцы этих эмоций занимают строго определенную область пространства. В случае бинарной классификации негативной эмоциональной окраски по стратегии «один против остальных», можно наблюдать явный перевес качества классификации в сторону определения истинно «негативного» класса и большой ложноположительный показатель, что свидетельствует о некоторой степени переобученности модели, устранив которую, можно получить лучшие результаты.

На наборе данных TESS получены выделяющиеся результаты как классификации, так и визуализации, однако, это связано с особенностями этого набора данных – чрезмерное модулирование актерами эмоций, произнесение одной и той же фразы, всего два актера. В общем случае, лучшие результаты получены для тех наборов данных, в которых: а) Разделение и модуляция эмоциональных переживаний сильнее выражена (более яркая игра актеров); б) Произносятся одинаковые и короткие фразы; в) Меньшее количество актеров.

На некоторых наборах данных (SAVEE, IEmoCap) T-SNE выявляет кластеры по отличному от эмоциональной окраски признаку. Это могут быть кластеры для говорящих разного пола, или для разных актеров. Применение разделения по полам или использование идентификации говорящего может улучшить качество классификации.

**6. Выводы и дальнейшие планы.**

По итогу работы можно сделать вывод, что возможность и результаты классификации эмоций по речи методом k ближайших соседей во многом зависят от особенностей обучающего набора данных, а также от метода предобработки. В наши дальнейшие планы входит расширение списка используемых наборов данных (в том числе, на русском языке), методов классификации и предобработки в целях улучшения качества классификации. Также планируется применять рассмотренные методы в задачах мультимодального распознавания эмоций.

**7. Литература.**

[1]Cornelius, R.R., 1996. The Science of Emotion. Research and Tradition in the Psychology of Emotion. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ

[2]Ortony, Andrew & Turner, Terence. (1990). What's Basic About Basic Emotions?. Psychological review. 97. 315-31. 10.1037/0033-295X.97.3.315.

[3]Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. Journal of Personality and Social Psychology, 39(6), 1161–1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>

[4]Y. Yeqing and T. Tao, “An new speech recognition method based on prosodic analysis and svm in zhuang language,” Proc. 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer, 2011

[5]Khulage, A.A.. (2012). Extraction of pitch, duration and formant frequencies for emotion recognition system. IET Conference Publications. 2012. 7-9. 10.1049/cp.2012.2482.

[6]M. S. Likitha, S. R. R. Gupta, K. Hasitha and A. U. Raju, "Speech based human emotion recognition using MFCC," 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, 2017, pp. 2257-2260, doi: 10.1109/WiSPNET.2017.8300161.

[7] A. Razak, R. Komiya, and M. Abidin, “Comparison between fuzzy and nn method for speech emotion recognition.” Proc. Information Technology and Applications, ICITA 2005.

[8] Niu, Yafeng & Zou, Dongsheng & Niu, Yadong & He, Zhongshi & Tan, Hua. (2017). A breakthrough in Speech emotion recognition using Deep Retinal Convolution Neural Networks.

[9] Eyben, Florian & Wöllmer, Martin & Schuller, Björn. (2010). openSMILE -- The Munich Versatile and Fast Open-Source Audio Feature Extractor. MM'10 - Proceedings of the ACM Multimedia 2010 International Conference. 1459-1462. 10.1145/1873951.1874246.

[10] Florian Eyben, Felix Weninger, Florian Gross, Björn Schuller: “Recent Developments in openSMILE, the Munich Open-Source Multimedia Feature Extractor”, In Proc. ACM Multimedia (MM), Barcelona, Spain, ACM, ISBN 978-1-4503-2404-5, pp. 835-838, October 2013. doi:10.1145/2502081.2502224

[11] Schuller, Björn & Steidl, Stefan & Batliner, Anton & Vinciarelli, Alessandro & Scherer, Klaus & Ringeval, Fabien & Chetouani, Mohamed & Weninger, Felix & Eyben, Florian & Marchi, Erik & Mortillaro, Marcello & Salamin, Hugues & Polychroniou, Anna & Valente, Fabio & Kim, Samuel. (2013). The INTERSPEECH 2013 computational paralinguistics challenge: Social signals, conflict, emotion, autism. Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH. 148-152.

[12]F. Eyben et al., "The Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS) for Voice Research and Affective Computing," in IEEE Transactions on Affective Computing, vol. 7, no. 2, pp. 190-202, 1 April-June 2016, doi: 10.1109/TAFFC.2015.2457417

[13] Chavhan, Yashpalsing & Dhore, Manikrao & Pallavi, Yesaware. (2010). Speech Emotion Recognition Using Support Vector Machines. International Journal of Computer Applications. 1. 10.1007/978-3-642-21402-8\_35.

[14] Meftah I.T., Le Thanh N., Ben Amar C. (2012) Emotion Recognition Using KNN Classification for User Modeling and Sharing of Affect States. In: Huang T., Zeng Z., Li C., Leung C.S. (eds) Neural Information Processing. ICONIP 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7663. Springer, Berlin, Heidelberg

[15] Nwe, Tin & Foo, S.W. & De Silva, Liyanage. (2003). Speech Emotion Recognition Using Hidden Markov Models. Speech Communication. 41. 603-623. 10.1016/S0167-6393(03)00099-2.

[16] Roy T., Marwala T., Chakraverty S. (2020) Speech Emotion Recognition Using Neural Network and Wavelet Features. In: Chakraverty S., Biswas P. (eds) Recent Trends in Wave Mechanics and Vibrations. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore

[17] Trigeorgis, George & Ringeval, Fabien & Brueckner, Raymond & Marchi, Erik & Nicolaou, Mihalis & Schuller, Björn & Zafeiriou, Stefanos. (2016). Adieu Features? End-to-end Speech Emotion Recognition using a Deep Convolutional Recurrent Network. 10.13140/RG.2.1.3842.7283.

[18] ElShaer, Mohamed & Wisdom, Scott & Mishra, Taniya. (2019). Transfer Learning From Sound Representations For Anger Detection in Speech.

[19] Gideon, John & Khorram, Soheil & Aldeneh, Zakaria & Dimitriadis, Dimitrios & Mower Provost, Emily. (2017). Progressive Neural Networks for Transfer Learning in Emotion Recognition. 1098-1102. 10.21437/Interspeech.2017-1637.

[20] Ivosev, G., Burton, L. and Bonner, R., 2008. Dimensionality reduction and visualization in principal component analysis. *Analytical chemistry*, *80*(13), pp.4933-4944.

[21] Wang, H., Ding, C. and Huang, H., 2010, September. Multi-label linear discriminant analysis. In *European conference on computer vision* (pp. 126-139). Springer, Berlin, Heidelberg.

[22] L.J.P. van der Maaten and G.E. Hinton. Visualizing High-Dimensional Data Using t-SNE. Journal of Machine Learning Research 9(Nov):2579-2605, 2008.

[23] Воронцов, К.В., 2011. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). *Москва*, pp.119-121.

[24] Busso, Carlos & Bulut, Murtaza & Lee, Chi-Chun & Kazemzadeh, Abe & Mower Provost, Emily & Kim, Samuel & Chang, Jeannette & Lee, Sungbok & Narayanan, Shrikanth. (2008). IEMOCAP: Interactive emotional dyadic motion capture database. Language Resources and Evaluation. 42. 335-359. 10.1007/s10579-008-9076-6.

[25] "H. Cao, D. Cooper, M. Keutmann, R. Gur, A. Nenkova, and R. Verma, “CREMA-D: Crowd-sourced emotional multimodal actors dataset,” IEEE Transactions on Affective Computing, 2014."

[26] "F. Burkhardt, A. Paeschke, M. Rolfes, W. Sendlmeier, and B. Weiss, “A database of German emotional speech,” in 9th European Conference on Speech Communication and Technology (Interspeech’2005 - Eurospeech), Lisbon, Portugal, September 2005, pp. 1517–1520."

[27] S. R. Livingstone и F. A. Russo, «The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDESS): A dynamic, multimodal set of facial and vocal expressions in North American English», PLOS ONE, т. 13, вып. 5, с. e0196391, май 2018.

[28] Jackson, Philip & ul haq, Sana. (2011). Surrey Audio-Visual Expressed Emotion (SAVEE) database.

[29] M. K. Pichora-Fuller и K. Dupuis, «Toronto emotional speech set (TESS)». Scholars Portal Dataverse, 2020

[30] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V. and Vanderplas, J., 2011. Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, *12*, pp.2825-2830.

[31] Poličar P.G., Stražar M., Zupan B. (2019) Embedding to Reference t-SNE Space Addresses Batch Effects in Single-Cell Classification. In: Kralj Novak P., Šmuc T., Džeroski S. (eds) Discovery Science. DS 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11828. Springer, Cham