

АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМОЦИЙ ЗАИНТЕРЕСОВАННОСТИ У ОБУЧАЕМЫХ ПО МИМИКЕ ЛИЦА

С.В. Садов¹, О.М. Демиденко², И.А. Ерофеев¹, В.С. Садов¹

¹Белорусский государственный университет, Минск

²Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

ALGORITHMS FOR DETERMINING THE EMOTIONS OF INTEREST IN STUDENTS BY FACIAL EXPRESSIONS

S.V. Sadau¹, O.M. Demidenko², I.A. Yerafeyeu¹, V.S. Sadau¹

¹Belarusian State University, Minsk

²Francisk Skorina Gomel State University

Представлены разработанные алгоритмы определения эмоций заинтересованности у обучаемых по мимике с использованием ключевых точек на изображении лица, позволяющие организовать в реальном времени эффективный контроль за качеством учебного процесса при дистанционных формах обучения.

Ключевые слова: алгоритмы, эмоции, изображения лица, лицевые ориентиры, классификатор.

The developed algorithms for determining the emotions of interest in students by facial expressions using key points on the face image are presented. These algorithms allow organizing effective real-time control over the quality of the educational process in distance learning.

Keywords: algorithms, emotions, facial images, facial marks, classifier.

Введение

В современном мире всё больше интеллектуальной деятельности уходит в интернет, в том числе и обучение. Это привело к потере, в значительной мере, обратной связи между обучающимися и преподавателями, затруднило управление процессом обучения в реальном времени.

В связи с этим актуальными становятся вопросы создания инструмента для контроля качества занятий, происходящих онлайн, посредством оценки на эмоциональном уровне степени вовлеченности обучающихся в учебный процесс.

Эмоции (emotion – волнение, возбуждение) – субъективные состояния человека, возникающие в ответ на воздействие внешних и внутренних раздражителей и проявляющиеся в форме непосредственных переживаний (удовольствия или неудовольствия, радости, страха, гнева и т. д.) [1].

Эмоции человек не только переживает, но и выражает внешне в виде телесных проявлений, прежде всего мимики.

Среди эмоциональных состояний человека занятого умственным трудом можно выделить интерес, сосредоточенность и недоумение, которые стимулируют к занятию этим видом деятельности, особенно к обучению [2], [3]. С другой стороны, наличие таких эмоций у обучающегося может служить оценкой качества учебного процесса.

В процессе работы авторы столкнулись с проблемой отсутствия баз данных лиц, выражающих интересующие нас эмоции. В связи с

чем было принято решение создать собственную базу данных, разработать процедуры преобразования полученных данных, выделить их характерные особенности и разработать классический алгоритм оценки эмоций по мимике, основанный на лицевых ориентирах [4].

Для этого велась запись лекций по предмету «Интегральная Электроника» в БГУ, а также мероприятий, посвящённых настольным играм.

В рамках исследования теоретических данных и обработки записей были проверены гипотезы о том, что лицо можно разделить на области и анализировать выражение лица по совокупности движений лицевых мышц данных областей. Были выделены следующие области: брови, губы, глаза. Так же было решено скуку или усталость принять за нейтральное выражение.

1 Алгоритм определения эмоционального состояния обучаемых по мимике

В соответствии с предложенным алгоритмом предполагается, что учебная аудитория оснащена необходимым оборудованием для видео или фотосъемки лиц, обучаемых во время их работы. Это позволяет преподавателю контролировать и корректировать, при необходимости в реальном времени, ход учебного процесса или проводить его анализ постфактум по сохраненным видеоданным.

Структурная схема алгоритма определения эмоций заинтересованности обучаемых по выражениям их лиц приведен на рисунке 1.1.

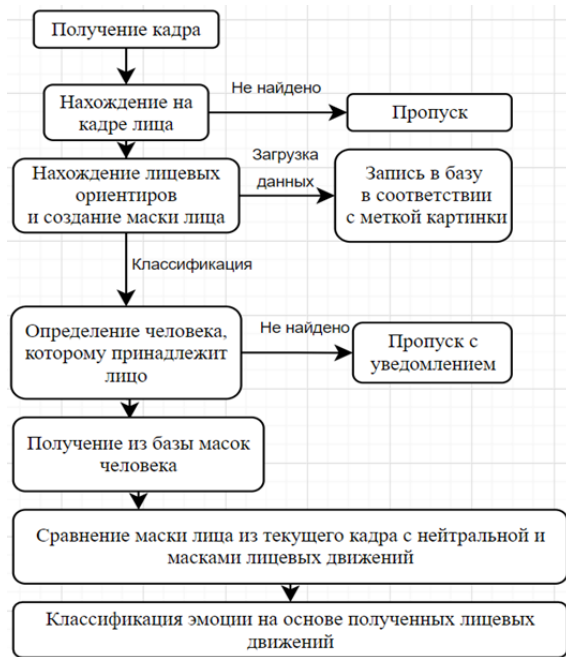


Рисунок 1.1 – Структурная схема алгоритма определения эмоций заинтересованности по изображению лица

В общем виде алгоритм можно разбить на два этапа: этап загрузки данных и этап анализа текущих изображений обучаемых и оценки степени их вовлеченности в учебный процесс.

На этапе загрузки формируется база данных группы обучаемых, которая содержит предварительно полученные изображения их лиц, выражающие нейтральную эмоцию и эмоции с различной степенью заинтересованности. По этим изображениям для каждого обучаемого с использованием системы лицевых ориентиров создаются так называемые маски или эмоциональные портреты.

На втором этапе поступающий видеоряд разбивается на фреймы, на которых осуществляется поиск лиц. Если лицо обнаружено, то на нем находятся лицевые ориентиры, высчитывается маска лица, определяется, какому человеку из известных системе оно принадлежит. Если с заданной точностью человек не принадлежит к группе известных системе людей, то алгоритм сигнализирует об этом и пропускает картинку. Если лицо принадлежит знакомому системе человеку, то извлекаются маски данного человека из базы данных, созданной на этапе загрузки данных.

Затем определяется, выражает ли найденное лицо эмоцию из списка интересующих нас. Для этого обнаруженное изображение лица и его изображения, взятые из базы данных, сравниваются. С учетом того, что выражение лица можно представить как совокупность смещений отдельных его областей, мы пришли к следующему

алгоритму сравнения: обнаруженное изображение лица сравнивается с его изображением, выражающим нейтральную эмоцию, взятым из базы, и их разница разбивается на фрагменты. Каждый фрагмент сравнивается с соответствующими масками смещений. Полученная совокупность смещений далее передается в классификатор, который на основании байесовской сети и полученной совокупности фрагментов определяет наличие той или иной эмоции из интересующих.

2 Алгоритм формирования структуры «маска лица»

Введем следующие определения и понятия:

1. Лицевой ориентир – характерная точка на лице. Такой точкой может быть кончик носа, переносица, левый уголок глаза, правый уголок губ и т. д.

2. Якорная точка – лицевой ориентир, относительно которого измеряется положение остальных точек.

3. Нейтральное лицо – лицо, характерное для человека в момент расслабленности, спокойствия, отсутствия проявляемых эмоций.

4. Эмоциональное лицо – лицо, характерное для человека в момент яркого выражения какой-либо эмоции.

5. Нормальное расстояние – значение абсолютного смещения лицевых ориентиров, принятое за единицу измерения относительного смещения.

6. Маска лица – таблица значений, характеризующих положение точек на лице.

7. Таблица отклонений – таблица значений, характеризующих смещение точек одной маски относительно другой маски.

8. Лицевое движение – смещение области лица, характеризующее совокупностью смещений точек в данной области.

9. Дополнительное расстояние – расстояние между парой точек, ни одна из которых не является якорной.

10. Маска лицевого движения – таблица отклонений для фрагмента лица, характеризующая конкретное лицевое движение.

Для разметки лица использовалась библиотека dlib [5], которая позволяет найти лицо на изображении и установить местоположение лицевых ориентиров.

В данной работе применялся 68 точечный шаблон лицевых ориентиров.

Примеры пронумерованного шаблона маски, нейтрального и эмоционального лиц с обозначенными ориентирами показаны на рисунках 2.1–2.2.

Для анализа лица использовать абсолютное значение положения точки (лицевого ориентира) представляется неэффективно, т. к. при повороте, наклоне и других движениях головы точки смещаются, при этом выражение лица может оставаться прежним.

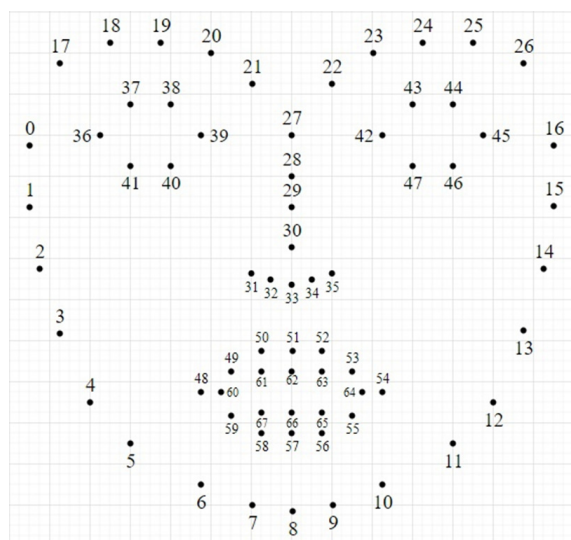


Рисунок 2.1 – Пронумерованный шаблон лицевых ориентиров

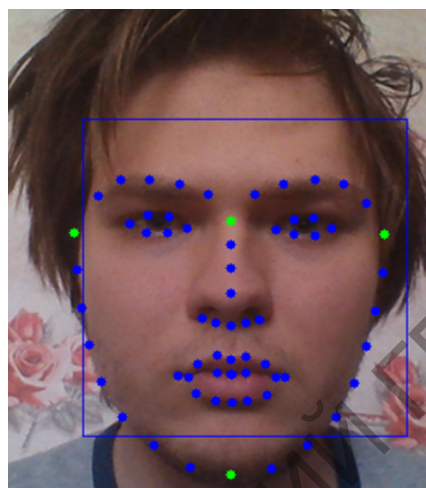


Рисунок 2.2 – Нейтральное лицо с установленными ориентирами

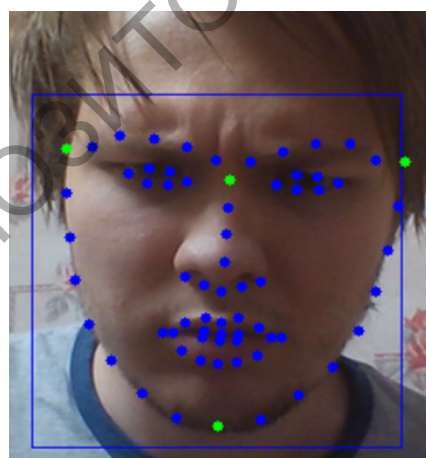


Рисунок 2.3 – Эмоциональное лицо с установленными ориентирами

Для введения относительных значений были выбраны точки наименее подвижные и наиболее показательные в рамках интересующих нас эмоций. Опытным путём было выявлено, что наиболее подходящими под эти цели являются:

- *переносица* – точка 27,
- *левый висок* – точка 0,
- *правый висок* – точка 16,
- *подбородок* – точка 8.

Назовём эти точки якорными.

Для нормализации расстояний на лице было использовано следующее, эмпирически полученное, выражение:

$$0,05(r_g + r_v) = r_{norm},$$

где r_g – это расстояние между висками,

r_v – расстояние между переносицей и подбородком,

r_{norm} – норма, единица измерений лицевых смещений.

Множитель 0,05 обусловлен тем, что изменения между нейтральным лицом и эмоциональным лицом, о котором речь пойдёт далее, значительно меньше расстояния между якорными точками.

Положение каждого лицевого ориентира описывается расстояниями от него до 4 якорных точек. Например, левый конец левой брови, точка номер 17, описывают 4 расстояния:

$$r_0 = 1,17, \quad r_8 = 10,726,$$

$$r_{16} = 10,381, \quad r_{27} = 4,899,$$

где r_i – расстояния до соответствующих якорных точек, описанных выше.

Алгоритм нахождения положения лицевого ориентира на лице приведен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Алгоритм определения положения лицевого ориентира на лице

Совокупность полученных расстояний от лицевых ориентиров до якорных точек и будет маской лица.

Для более точной регистрации поджатия губ, открывания рта и глаз в маску лица дополнительно вводятся расстояния, характеризующие позиции верхнего и нижнего края каждой губы или её толщину, нижнего края верхней губы и верхнего края нижней губы или расстояния между губ, а также верхнего века и нижнего века относительно друг друга соответственно. Для этого выделяются множества точек, характеризующих соответствующие области, и из этих множеств берутся пары точек. Например, точка 50 и точка 61 принадлежат множеству верхнего края верхней губы и нижнего края верхней губы соответственно, и находятся напротив друг друга в маске. Измеряется абсолютное расстояние между этими двумя точками и делится на норму. Совокупность таких расстояний, записанных слева направо, и будет характеризовать позиции соответствующих областей относительно друг друга. Назовём эти расстояния дополнительными.

Пример табличного описания маски нейтрального лица через дополнительные расстояния приведен в таблице 2.1, а табличное описание дополнительных расстояний нейтрального лица в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.1 – Табличное описание маски нейтрального лица

<i>n</i>	0	8	16	27
0	0,0	10,0656	11,1442	5,6079
1	1,4707	8,8001	11,0753	5,7889
2	2,8918	7,6115	11,1357	6,2419
3	4,3191	6,4753	11,3239	6,9207
4	5,6621	5,3953	11,4906	7,6183
5	6,9175	4,2304	11,4502	8,1729
6	8,0572	2,9035	11,1006	8,5069
7	9,0872	1,545	10,6083	8,7463
8	10,0656	0,0	9,8572	8,8558
9	10,836	1,5297	8,9182	8,7968
10	11,2969	2,8589	7,8982	8,5551
11	11,5269	4,1158	6,738	8,1381
12	11,4684	5,189	5,521	7,5341
13	11,3343	6,3033	4,1978	6,8765
14	11,1708	7,4516	2,8042	6,2391
15	11,1271	8,6382	1,4217	5,8207
16	11,1442	9,8572	0,0	5,6003
17	1,697	10,6999	10,1986	4,6022
18	2,6119	10,9259	9,5649	4,0249
19	3,4803	10,7375	8,5957	3,1398
20	4,3023	10,3787	7,5601	2,1978
21	5,0366	9,9044	6,5663	1,282
22	6,5411	9,8265	5,0354	1,2315
23	7,5771	10,3445	4,3054	2,2165
24	8,5973	10,6403	3,4782	3,1342
25	9,5822	10,8235	2,6221	4,0377
26	10,259	10,5918	1,6874	4,6558
27	5,6079	8,8558	5,6003	0,0

<i>n</i>	0	8	16	27
28	5,6119	8,0411	5,5407	0,8148
29	5,6798	7,2255	5,6541	1,6305
30	5,9319	6,3565	5,843	2,4993
31	5,3046	5,5396	7,2735	3,6431
32	5,8457	5,297	6,8336	3,6541
33	6,3629	5,1605	6,3891	3,6974
34	6,8284	5,3029	5,8093	3,6114
35	7,2165	5,4864	5,3295	3,5971
36	2,1296	9,3015	9,0408	3,4803
37	2,8132	9,3498	8,4162	2,8268
38	3,5107	9,1738	7,7147	2,1213
39	4,0744	8,6358	7,0786	1,5555
40	3,4226	8,6563	7,7229	2,2159
41	2,716	8,8987	8,4309	2,904
42	7,1168	8,5332	4,0329	1,5976
43	7,8269	9,0664	3,388	2,2298
44	8,5311	9,2264	2,6876	2,9378
45	9,1265	9,1446	2,0361	3,5645
46	8,5346	8,7166	2,6097	3,0171
47	7,8269	8,5436	3,3176	2,3206
48	6,2528	3,8203	8,9537	5,9127
49	6,3434	3,9699	8,0497	5,2173
50	6,6178	4,1033	7,3534	4,8245
51	7,0594	3,9654	7,0093	4,8916
52	7,4205	4,1101	6,5081	4,7953
53	8,1839	3,9509	6,1852	5,2204
54	9,0742	3,7544	6,1173	5,9269
55	8,7849	3,039	6,8996	6,1802
56	8,3739	2,6634	7,4925	6,2584
57	8,0352	2,5531	7,9141	6,3033
58	7,595	2,7166	8,2428	6,2327
59	7,0617	3,0671	8,6479	6,1806
60	6,4424	3,669	8,6786	5,807
61	7,0292	3,5107	7,6921	5,4171
62	7,4181	3,4222	7,3383	5,4345
63	7,7897	3,5187	6,8885	5,3912
64	8,7785	3,6439	6,2808	5,7841
65	7,8598	3,4114	6,9609	5,4996
66	7,4925	3,3136	7,4072	5,5431
67	7,1069	3,4032	7,757	5,525

Таблица 2.2 – Табличное описание дополнительных расстояний нейтрального лица (губы)

	Губы, дополнительные расстояния		
Верхняя губа	0,5332	0,4887	0,5793
Между губ	0,0993	0,0993	0,0889
Нижняя губа	0,801	0,7998	0,7998

Таблица 2.3 – Табличное описание дополнительных расстояний нейтрального лица (глаза)

	Глаза, дополнительные расстояния	
Левый глаз	0,5793	0,5844
Правый глаз	0,5776	0,6236

3 Алгоритм записи «лицевого движения»

Для того что бы регистрировать лицевые движения или, согласно введённому определению, смещения, нам нужен эталон. Для этого создаётся маска нейтрального лица по алгоритму, приведённому ранее.

Далее для лиц, выражающих крайнюю степень интересующей нас эмоции, так же создаётся маска. После чего полученные значения основной маски, т. е. маски без дополнительных расстояний, пересчитываются в соответствии с выражением:

$$\frac{r_{new}^{in}}{r_e^{in}} - 1 = d^{in},$$

где n – номер ориентира,

i – номер якорной точки,

r_{new} – полученное расстояние,

r_e – эталонное значение, взятое из таблицы описания маски нейтрального состояния.

Значения дополнительно введённых расстояний определяются по формуле:

$$\frac{r_{new}^n}{r_e^n} - 1 = d^{in},$$

где n – номер пары точек,

r_{new} – полученное расстояние,

r_e – эталонное значение, взятое из таблицы описания расстояния в нейтральном состоянии.

Таким образом определяется изменение положения лицевых ориентиров и дополнительных расстояний относительно якорных точек.

Далее разделяем таблицу отклонений точек на две области, сосредоточенные вокруг глаз и губ соответственно и получаем крайнее положение того или иного лицевого движения, которым является совокупность смещений точек соответствующей области при выражении интересующей нас эмоции. Назовём это маской лицевого движения.

Маски, характеризующие губы и глаза, также дополняются изменениями дополнительных расстояний. Так, например, в маску правого глаза после строки, соответствующей точке 47 (последняя точка, характеризующая правый глаз), в новую строку сначала записывается число, соответствующее изменению относительного расстояния между точками 43 и 47, за ним записывается число, описывающее расстояние между точками 44 и 46. Таким образом мы записываем с новой строки интересующую нас область слева направо.

Для маски губ добавляется три строки, первая из которых соответствует толщине верхней губы, вторая – расстоянию между губами, третья – толщине нижней губы.

Так как одна и та же эмоция может характеризоваться различными выражениями лица, мы берём каждое такое выражение и повторяем выше описанные операции.

Алгоритм определения лицевых движений представлен на рисунке 3.1, а пример их табличного описания – в таблицах 3.1, 3.2.

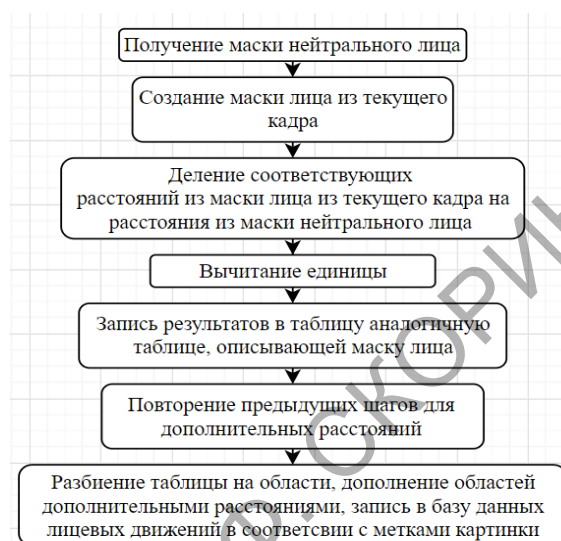


Рисунок 3.1 – Алгоритм определения лицевых движений

Таблица 3.1 – Пример табличного описания лицевых движений бровей

Левая бровь вверх				
n	0	8	16	27
17	0,2702	0,0136	0,0036	0,0356
18	0,2115	0,0314	0,0168	0,0793
19	0,1512	0,0446	0,0302	0,1491
20	0,0954	0,0415	0,0308	0,2149
21	0,0437	0,0271	0,03	0,309
Левая бровь вниз				
n	0	8	16	27
17	-0,2343	-0,0267	0,0021	0,0135
18	-0,1183	-0,0314	-0,0124	-0,0149
19	-0,0518	-0,0471	-0,0293	-0,0704
20	-0,0139	-0,0575	-0,0392	-0,1479
21	0,0262	-0,0582	-0,0518	-0,324
Правая бровь вверх				
n	0	8	16	27
22	0,0713	0,0475	0,0161	0,376
23	0,0659	0,0482	0,045	0,1866
24	0,0607	0,0543	0,0993	0,1248
25	0,0442	0,0391	0,137	0,0543
26	0,0194	0,0103	0,1329	-0,0102
Правая бровь вниз				
n	0	8	16	27
22	-0,0292	-0,0349	0,0113	-0,2217
23	-0,0257	-0,0464	-0,0295	-0,1495
24	-0,0103	-0,0361	-0,0827	-0,0615
25	-0,0034	-0,0277	-0,1454	-0,0312
26	0,0071	-0,019	-0,2471	-0,0084

Таблица 3.2 – Пример табличного описания лицевых движений губ

n	Улыбка			
	0	8	16	27
48	−0,026	0,2227	0,075	−0,0818
49	0,0625	0,0391	0,0904	−0,0296
50	0,101	−0,0412	0,093	−0,0029
51	0,1103	−0,0639	0,0963	0,008
52	0,1089	−0,0449	0,0895	0,0016
53	0,0914	0,052	0,0505	−0,0435
54	0,0723	0,2404	−0,0401	−0,101
55	0,0715	0,1577	0,0202	−0,0778
56	0,076	0,0695	0,052	−0,0557
57	0,0741	0,0415	0,0609	−0,0508
58	0,0742	0,0287	0,0693	−0,043
59	0,0315	0,1391	0,0705	−0,0667
60	−0,0126	0,1989	0,0835	−0,0738
61	0,0826	−0,0035	0,082	−0,0309
62	0,0878	−0,0124	0,0783	−0,0315
63	0,0885	0,0069	0,0701	−0,0377
64	0,0817	0,1843	−0,0092	−0,0819
65	0,0887	0,0255	0,0595	−0,0454
66	0,0875	0,0031	0,0683	−0,0406
67	0,0765	0,012	0,0776	−0,0399
Верхняя губа		0,429	0,3317	0,379
Между губ		0,0474	0,067	0,067
Нижняя губа		0,7123	0,665	0,7107

4 Классификации эмоций

Наличие на текущем кадре анализируемого видеоряда интересующей эмоции определяется по результатам сравнения полученных на текущем кадре масок лицевых движений в соответствии с выше описанными алгоритмами, с эталонными масками лицевых движений из базы данных.

В качестве классификатора определения наличия требуемой эмоции был использован

байесовский классификатор в виду его простоты и высокой эффективности для подобного рода задач, а также нетребовательности к размеру обучающей выборки [6], [7].

Математическая модель данного классификатора имеет вид:

$$p(C | F_1, F_2, F_3) = \frac{1}{Z} p(C) \prod_{i=1}^3 p(F_i | C),$$

где $p(C | F_1, F_2, F_3)$ – вероятность наблюдения эмоции C при условии регистрации лицевого движения F_1 в области бровей, F_2 в области глаз и F_3 в области губ, $Z = p(F_1, F_2, F_3)$ – масштабный множитель.

Глаза и брови было решено не разделять из-за их высокой корреляции, которая негативно сказывается на качестве работы классификатора ввиду предположения о независимости признаков.

Соответственно, функция классификатора определяется следующим образом:

$$\text{classify}(f_1, f_2, f_3) = \arg_c \max_{p(C=c)} \prod_{i=1}^3 p(F_i = f_i | C = c).$$

В рамках работы было решено обучить существующую модель из библиотеки scikit-learn на основе собранной базы данных.

Если уверенность в наличии эмоции не превысит заданный порог ни для одной из эмоций – система помечает лицо как нейтральное. В противном случае система перечислит все эмоции в порядке убывания уверенности в их наличии.

5 Апробация алгоритма

Важнейшим модулем разработанной системы является модуль выделения лицевых движений. Всего он выделил 10 лицевых движений и показал хороший результат: 5% ложно отрицательных и 13% ложно положительных ошибок (рисунок 5.1).

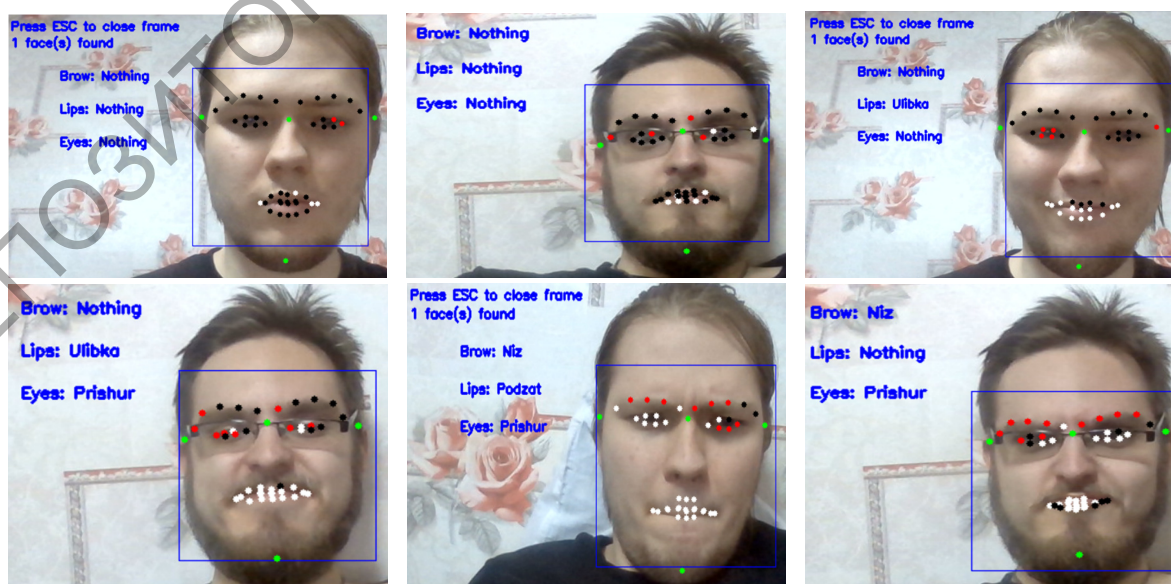


Рисунок 5.1 – Пример работы модуля регистрации лицевых движений

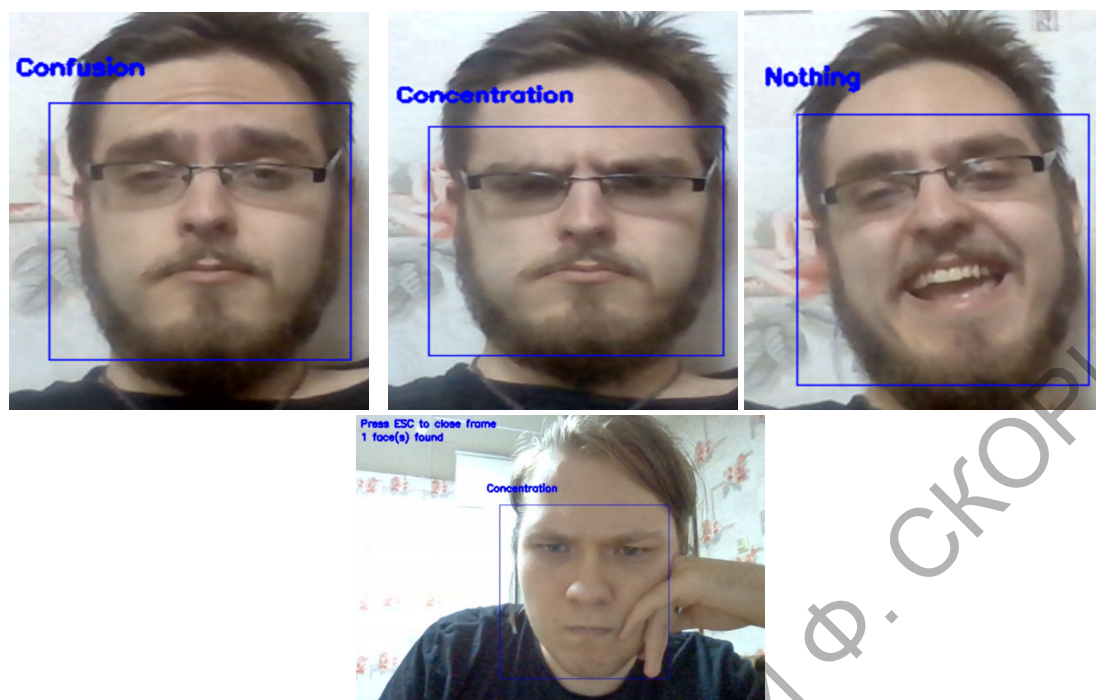


Рисунок 5.2 – Пример работы модуля выделения эмоций

Тестирование алгоритма выделения эмоции показало точность его работы 75% (рисунок 5.2). Связано это с недостаточным объемом базы данных для обучения классификатора.

Заключение

Широкое внедрение в образовательную сферу информационных технологий и дистанционных форм обучения потребовало создания соответствующей инфраструктуры и учебно-методического обеспечения.

В данной работе, исходя из известного предположения, что эмоциональное состояние человека в значительной мере влияет на его работоспособность, в том числе и в процессе его обучения, представлены результаты разработки алгоритмов определения наличия эмоций интереса, сосредоточенности и недоумения у обучающихся по мимике на основании анализа изображений их лиц с использованием лицевых ориентиров. Степень вовлеченности обучающихся в процесс обучения в значительной мере проявляется при выражении ими, в первую очередь, этих эмоций.

Тестирование алгоритма выделения интересующих эмоций при использовании обученного на собственной ограниченной базе данных байесовского классификатора, показало точность его работы 75%, что позволяет на хорошем уровне управлять учебным процессом в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиноян, Р.В. Физиология эмоций: учеб.-метод. пособие / Р.В. Гиноян, А.Е. Хомутов // Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2010. – 66 с.
2. Изард, К.Э. Психология эмоций / К.Э. Изард. – СПб.: Питер, 2012. – 464 с.
3. Renninger, K.A. Effect of interest on attentional shift, recognition and recall in young children / K.A. Renninger, R.H. Wozniak // *Developmental Psychology*. – 1985. – Vol. 21, № 4. – С. 624–632.
4. *Face recognition homepage* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.face-rec.org/databases/>. – Дата доступа: 04.05.2016.
5. *Dlib C++ Library* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dlib.net/>. – Дата доступа: 01.06.2021.
6. *Scikit-learn: machine learning in Python* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>. – Дата доступа: 01.04.2021.
7. Rish, I. An Empirical Study of the Naïve Bayes Classifier, *IJCAI 2001* / I. Rish. – *Work Empir Methods*. – *Artif Intell*.

Поступила в редакцию 23.04.2021.