

Повышение достоверности измерения уровня стресса оператора управления опасным объектом при обработке виброизображения его лица

М. В. Алюшин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
MVAlyushin@mephi.ru

Аннотация. В работе рассматривается подход, позволяющий повысить достоверность диагностики уровня стресса при анализе виброизображения лица (ВИЛ) за счет использования индивидуальной психомоторной модели лица (ИПМЛ). Модель основывается на выделении наиболее информативных зон лица, которые в значительной степени подвержены модуляции при наличии нервного напряжения. Предложен алгоритм создания ИПМЛ. Алгоритм реализован в виде специализированного программного обеспечения в составе инструментального измерительного стенда. Анализируются результаты экспериментальной лабораторной апробации функциональных возможностей стенда, а также эффективности предложенного подхода к измерению уровня стресса на основе анализа ВИЛ человека. Исследование направлено на повышение эффективности технологий управления человеческим фактором.

Ключевые слова: измерение уровня стресса; виброизображение лица; индивидуальная психомоторная модель лица

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из подходов к решению важной проблемы своевременного выявления и достоверного измерения уровня стресса у оператора управления опасным объектом является анализ динамики движения (тремора) различных областей его лица. Такой анализ, в частности, позволяет в реальном масштабе времени осуществить распознавание его эмоций [1, 2], слежение за направлением его взгляда [3–5], оценку уровня его нервного напряжения [6].

Наиболее показательной в этом плане является активно развивающаяся в последнее время технология анализа ВИЛ [7]. Сущность технологии заключается в регистрации микротремора отдельных участков лица, уровень которого коррелирует с текущим уровнем нервного возбуждения человека. Для получения ВИЛ на практике используется специализированное программное обеспечение для обработки видеоизображения лица человека.

Основными факторами, снижающими вероятность своевременного выявления, а также достоверность

измерения уровня стресса при использовании технологии анализа ВИЛ, являются искажения, обусловленные произвольными, либо осознанными движениями головы человека, его сердечной и дыхательной активностью, а также различным уровнем проявления психомоторики в зависимости от его индивидуальных особенностей.

Данные обстоятельства затрудняют объективное сравнение и отбор операторов управления, например, по уровню профессиональной подготовки и готовности к действиям в нестандартных и аварийных ситуациях.

Целью исследования является повышение достоверности измерения уровня стресса у оператора управления опасным объектом при обработке и анализе виброизображения его лица за счет использования ИПМЛ.

II. СТРУКТУРА РАЗРАБОТАННОЙ ИПМЛ

Разработанная модель содержит графические данные о наиболее информативных зонах лица, которые в значительной степени подвержены модуляции при наличии нервного напряжения. При разработке ИПМЛ человека учитывался возможный характер произвольных движений элементов и областей лица. В зависимости от уровня нервного напряжения у человека возможны как «простые» неконтролируемые подергивания, например, век и губ, так и «сложные» произвольные движения нескольких областей лица. Например, при нервном тике обычно происходит прищуривание глаза, движение уголков губ и движение век одной из сторон лица.

Разработанная ИПМЛ содержит два уровня графических компонентов, содержащих:

- интегральную информацию о всех наиболее информативных областях лица;
- частную информацию об информативных областях лица, специфических для наиболее типичных эмоций (элементов мимики).

Типичный вид интегральной графической информации показан на рис. 1.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект №16-18-00069

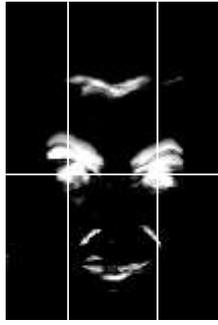


Рис. 1. Пример интегральной информации

Вся графическая информация ИПМЛ представлена в виде двух наборов двумерных матриц $VIM0[i, j], VIM1[i, j], \dots, VIMN[i, j]$, унифицированной размерности $i=1, \dots, 768; j=1, \dots, 1024$. Матрица $VIM0$ первого набора содержит интегральную информацию. Остальные матрицы первого набора содержат частную информацию (N – общее число матриц одного набора в ИПМЛ).

Для масштабирования ИПМЛ с целью привязки к конкретному графическому формату на этапе обработки видеоизображения лица оператора используются реперные точки. В качестве таких точек используются центры глаз. Для их выделения применяются маркерные линии, выделенные белым цветом. Яркость пикселей всех представлений первого набора пропорциональна относительному уровню психомоторной активности для данной области лица. Она может изменяться в диапазоне от 0 до 255 и соответствует изображению в серых тонах.

На рис. 2 представлены примеры частной графической информации для случаев: моргания (а); удивления (б); дрожания губ (в); тика левой стороны лица (г).

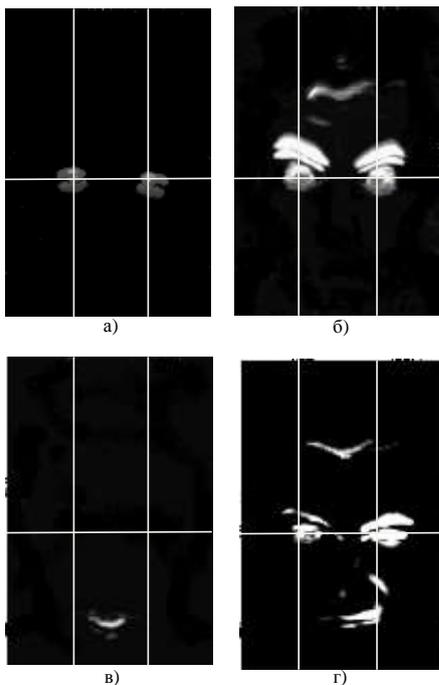


Рис. 2. Примеры частной информации

Второй набор матриц предназначен для быстрого предварительного выявления кадров потокового видео, в которых присутствует значимая виброинформация, а также для быстрой классификации кадров по типу присутствующих в них вибропризнаков. Для этого ИПМЛ содержит бинарные двумерные матрицы, аналогичные матрицам первого набора. Значения элементов бинарной матрицы определяются путем сравнения соответствующих значений элементов матриц первого набора с порогом. В случае превышения порога элементу матрицы присваивается значение «True» (1), в противном случае – «False» (0). Для устранения пиксельного шума, как правило, возникающего после выполнения рассмотренной операции, применяется медианная фильтрация.

Величину порога I_L целесообразно выбирать в диапазоне $100 < I_L < 150$. Данный диапазон является оптимальным, так как при существенно больших значениях I_L возможна потеря информативных областей с невысокой яркостью (невысоким уровнем психомоторной активности). Использование невысоких значений I_L приводит к возрастанию объема вычислений при выполнении быстрого анализа потокового видео.

На рис. 3 показаны примеры частной информации для случая сильного удивления, содержащейся в матрицах первого (а) и второго (б) наборов.

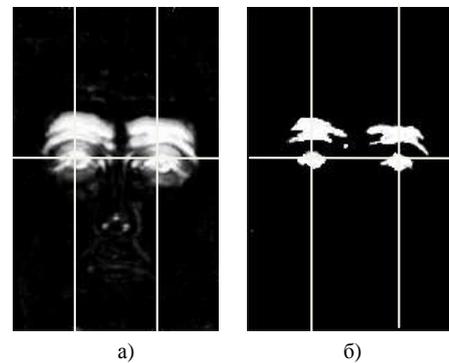


Рис. 3. Примеры частной информации

III. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ИПМЛ

На рис. 4 представлена последовательность выполнения основных операций унифицированного алгоритма для формирования частной информации ИПМЛ.

Частная информация об информативных областях лица, специфических для наиболее типичных эмоций (элементов мимики) формируется на основе анализа статистически достоверных данных. С этой целью осуществляется накопление данных о периодически повторяемых характерных мимических движениях, например моргании.

Полученное таким образом интегральное изображение лица конкретного человека (оператора управления) содержит достаточно много шумов и помех различной физической природы. Наиболее существенными из которых являются вибрационные шумы помещения, нестабильность освещения, шумы и наводки, создаваемые аппаратурой обработки видеопотока.

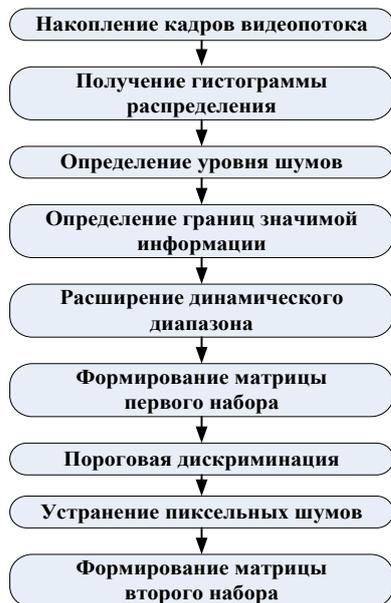


Рис. 4. Операции унифицированного алгоритма

На рис. 5 показаны типичные примеры такого интегрального изображения для различных людей при проявлении сильного удивления.

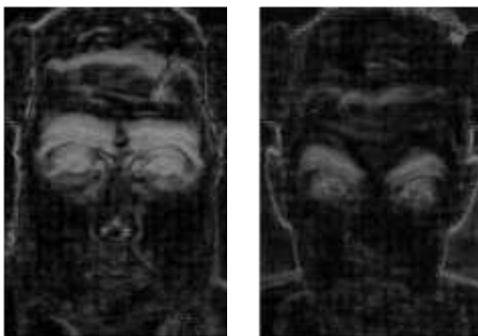


Рис. 5. Примеры интегрального изображения

На рис. 6 показан типичный пример формируемой на основе полученного интегрального изображения гистограммы распределения $N(I)$ пикселей изображения по яркости I ($0 \leq I \leq 255$). Гистограмма, как правило, содержит две характерные области – S_N и S_V .

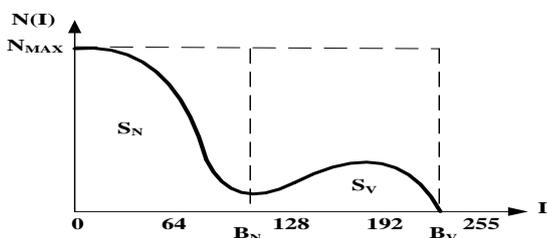


Рис. 6. Гистограмма распределения $N(I)$

Первая область S_N содержит пиксели интегрального изображения, яркость которых минимальна (N_{MAX} – максимальное число пикселей черного цвета). Данные пиксели соответствуют либо зашумленному фону

интегрального изображения, либо областям лица с практически отсутствующей психомоторной активностью.

Вторая область S_V содержит пиксели с большей яркостью, соответствующие информативным областям лица. Данные области наиболее подвержены движениям и вибрациям в зависимости от психоэмоционального состояния человека.

Основной проблемой, возникающей при попытке использования описанных выше интегральных изображений, является невозможность их использования для осуществления объективного сравнения психоэмоционального состояния различных людей. Это объясняется тем, что у различных людей психомоторное проявление, например, стрессового состояния одинаковой интенсивности принципиально различно. Причиной этому является различное конституционное строение лица, а также различные уровень и характер проявления психомоторной реакции.

Для минимизации влияния перечисленных факторов разработанный унифицированный алгоритм предусматривает выполнение операции расширения динамического диапазона. Его сущность заключается в перекодировке яркости пикселей интегрального изображения таким образом, чтобы максимальным образом раздвинуть границы B_N и B_V соответственно для выделенных зон S_N и S_V . Это позволяет для наиболее информативных областей лица, соответствующих зоне S_V , передавать информацию о психомоторной активности в большем динамическом диапазоне. Это дает возможность повысить точность распознавания каждого характерного движения участков лица, что, в конечном счете, приводит к повышению достоверности измерения текущего уровня стресса.

Кроме этого, полученные таким образом интегральные изображения со скорректированной яркостью пикселей дают возможность осуществить объективное сравнение состояний различных людей с различным уровнем проявления психомоторной реакции.

На рис. 7 показан вид гистограммы распределения $N^*(I)$ скорректированного интегрального изображения.

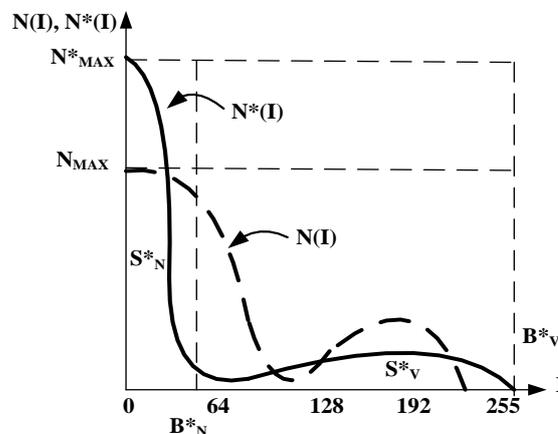


Рис. 7. Гистограмма распределения $N^*(I)$

Из полученной гистограммы $N^*(I)$ видно, что границы B^*_N и B^*_V новых областей S^*_N и S^*_V обеспечивают более широкий динамический диапазон для количественного описания выделенных информативных областей лица. Необходимо отметить, что площади новых областей S^*_N и S^*_V эквивалентны соответственно площадям областей S_N и S_V . В зависимости от начального уровня шума интегрального изображения, а также от уровня проявления психомоторной реакции выигрыш в расширении динамического диапазона может достигать 50–300%. Полученное таким образом изображение, характеризующее наиболее информативные области лица, например, для одной из эмоций, включается в состав ИПМЛ.

IV. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Для построения ИПМЛ с минимальными искажениями, вызванными возможными движениями головы, либо тела, был разработан специализированный инструментальный измерительный стенд, выполняющий следующие основные функции:

- фиксацию головы тестируемого;
- обеспечение стабилизированного освещения;
- получение и сохранение в локальной базе данных видеозаписи области лица тестируемого;
- обеспечение сетевого доступа к базе данных.

Разработанный стенд был использован для создания базы ИПМЛ для 75 человек в возрасте 25–45 лет, что соответствует возрастной группе персонала управления опасными объектами. На рис. 8 показан видеоряд работников данной возрастной группы.



Рис. 8. Видеоряд созданной базы ИПМЛ

Проведенная лабораторная апробация созданных технических, методических и алгоритмических средств подтвердила возможность достоверного измерения текущего уровня стресса при использовании созданной ИПМЛ. Использование расширенного динамического диапазона представления данных о наиболее информативных областях лица одновременно с точной реперной привязкой ИПМЛ к обрабатываемому изображению лица человека позволяет с 10–15% точностью измерять текущий уровень стресса. При этом в качестве «образцовых» измерений рассматривались уровни стресса, полученные при использовании классических средств его диагностики.

Использование ИПМЛ позволило до 2–5 раз сократить время получения и обработки ВИЛ по сравнению с существующими алгоритмами за счет выполнения ряда массовых операций в бинарном формате. На рис. 9 показан алгоритм выявления тремора и обработки ВИЛ, использовавшийся при проведении исследований.

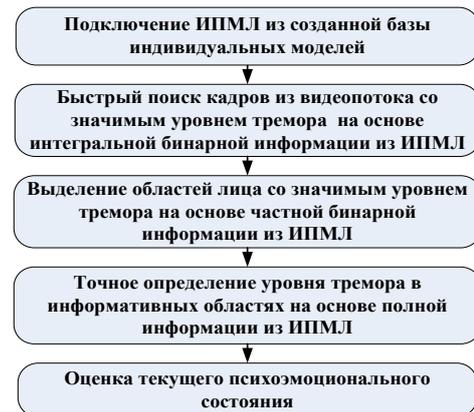


Рис. 9. Алгоритм выявления тремора и обработки ВИЛ

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование ИПМЛ дает возможность повысить достоверность измерения текущего уровня стресса при использовании ВИЛ в качестве дистанционной неконтактной технологии регистрации биопараметров. Разработанный подход следует рассматривать как один из компонентов системы управления человеческим фактором, ориентированной на обеспечение безаварийной эксплуатации опасных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Yao A., Shao J., Ma N., Chen Y. Capturing au-aware facial features and their latent relations for emotion recognition in the wild // Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '15, New York, USA / ACM. 2015. P. 451–458. DOI: 10.1145/2818346.283058
- [2] Shan C., Gong S., and McOwan P.W. Facial expression recognition based on local binary patterns: A comprehensive study // Image and Vision Computing. 2009. Vol. 27. No. 6. P. 803–816. DOI:10.1016/j.imavis.2008.08.005
- [3] Granholm E., Steinhauer S.R. Pupillometric Measures of Cognitive and Emotional Processes // International Journal of Psychophysiology. 2004. Vol. 52. No. 1. P. 1–6. DOI:10.1016/J.IPSYCHO.2003.12.001
- [4] Calvo M.G., Lang P.J. Gaze patterns when looking at emotional pictures: Motivationally biased attention // Motivation and Emotion. 2004. Vol. 28. No. 3. P. 221–243. DOI: 10.1023/B:MOEM.0000040153.26156.ed
- [5] Ruiz-Padial E., Sollers J.J., Vila J., Thayer J.F. The rhythm of the heart in the blink of an eye: Emotion-modulated startle magnitude covaries with heart rate variability // Psychophysiology. 2003. Vol. 40. P. 306–313.
- [6] Fukuda K., Stern J.A., Brown T.B., Russo M.B. Cognition, blinks, eye-movements, and pupillary movements during performance of a running memory task // Aviation, Space, and Environmental Medicine. 2005. Vol. 76. P. 75–85.
- [7] Bevilacqua F., Engström H., Backlund P. Changes in heart rate and facial actions during a gaming session with provoked boredom and stress // Entertainment Computing. 2018. Vol. 24. P. 10–20. DOI:10.1016/j.entcom.2017.10.004