

УДК 004.932

Алгоритм повышения качества распознавания лиц в системах дополненной реальности при пониженной освещенности

Акимкин Глеб Алексеевич^(*)

GAimkin@ya.ru

Вернигор Никита Александрович

vernigor@bmstu.ru
SPIN-код: 1565-8058

Вязовых Максим Вячеславович

maxvyaz@bmstu.ru
SPIN-код: 7315-0050

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе рассмотрена проблема снижения точности распознавания лиц в системах дополненной реальности при пониженной освещенности. Предлагается алгоритм предварительной обработки видеок кадров с камеры, включающий усиление деталей изображения с помощью оператора Лапласа, переход в цветовое пространство с разделением яркости и цвета и контрастно-ограниченную адаптивную эквализацию гистограммы канала яркости. Экспериментальные исследования на макетном образце носимого устройства показали, что применение алгоритма позволяет повысить вероятность успешного распознавания лиц при низкой освещенности без ухудшения работы системы в условиях достаточного освещения, что подтверждает целесообразность использования предложенного подхода в практических приложениях.

Ключевые слова: распознавание лиц, системы дополненной реальности, предварительная обработка изображений, низкая освещенность, адаптивная эквализация гистограммы

Algorithms for improving face recognition quality in augmented reality systems under low - light conditions

Akimkin Gleb Alekseevich

GAimkin@ya.ru

Vernigor Nikita Alexandrovich

vernigor@bmstu.ru
SPIN - code: 1565 - 8058

Vyazovih Maxim Vyacheslavovich

maxvyaz@bmstu.ru
SPIN - code: 7315 - 0050

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This paper addresses the problem of reduced face recognition accuracy in augmented reality systems under low-light conditions. An algorithm for preprocessing video frames from a camera is proposed. It includes image detail enhancement using the Laplacian operator, conversion to a color space with separated luminance and color components, and contrast-limited adaptive histogram equalization applied to the luminance channel. Experimental studies on a prototype wearable device demonstrated that the application of this algorithm increases the probability of successful face recognition in low-light conditions without degrading system performance under adequate lighting. This confirms the feasibility of using the proposed approach in practical applications.

Keywords: face recognition, augmented reality systems, image preprocessing, low illumination, adaptive histogram equalization

Введение. Системы дополненной реальности все шире применяются в задачах обеспечения безопасности и помощи при работе на производствах, где одним из важных функциональных модулей является автоматическое распознавание лиц по видеопотоку. Такие системы часто реализуются на носимых или встраиваемых устройствах и работают в самых разных условиях, включая сцены с низкой освещенностью. В подобных условиях точность работы алгоритмов распознавания лиц заметно снижается, что ограничивает практическую применимость системы. Распространенный подход к повышению качества связан с дообучением используемых моделей на специализированных наборах данных, однако это требует значительных ресурсов и трудоемкой переработки. В данной работе предлагается иной подход: повышение надежности распознавания при пониженной освещенности за счет предварительной обработки кадров видеопотока с камеры перед их подачей в подсистему распознавания.

Материалы и методы. Для исследования влияния предварительной обработки был сформирован набор видеоданных с изображениями лица при различных уровнях освещенности, от хорошо освещенных сцен до кадров с выраженным дефицитом света.

Предлагаемый алгоритм предварительной обработки включает три основных этапа. На первом шаге для входного изображения $f(x, y)$ вычисляется лапласиан

$$\nabla^2 f = \frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{d^2 f}{dy^2}, \quad (1)$$

что позволяет подчеркнуть границы объектов и локальные перепады яркости. Далее формируется изображение с повышенным контрастом как взвешенная сумма исходного изображения и модуля лапласиана:

$$\begin{aligned} \text{Изображение}_2(x, y) = \\ = \text{Изображение}_1(x, y) - 0.1 \times |\nabla^2 \text{Изображение}_1(x, y)|, \end{aligned} \quad (2)$$

где Изображение_1 — исходный кадр, Изображение_2 — изображение с усиленной детализацией.

Полученное изображение переводится из RGB в цветовое пространство LAB [1], в котором компонент L отвечает за воспринимаемую яркость, а компоненты A и B описывают цветовой тон. Это дает возможность воздействовать только на освещенность изображения, практически не изменяя цветопередачу, что важно для визуального качества изображения в системе дополненной реальности.

Затем к каналу L применяется контрастно-ограниченная адаптивная эквализация гистограммы [2]. Изображение разбивается на мозаичную сетку из квадратных областей фиксированного размера, для каждой области рас-

считывается гистограмма яркости, после чего по заданному порогу ограничиваются пиковые значения. Отсеченная часть равномерно перераспределяется по всем интервалам, формируется кумулятивная функция распределения, которая используется как карта преобразования яркости для соответствующей области. Для устранения видимых границ между областями результат восстанавливается с помощью билинейной интерполяции [3], обеспечивающей плавный переход между локальными преобразованиями. После этого обработанный канал яркости совместно с неизмененными цветовыми компонентами преобразуется обратно в пространство RGB, формируя итоговый кадр с выровненным контрастом и улучшенной проработкой деталей в темных областях. Пример результата обработки одиночного изображения представлен на рис. 1.



Рис. 1. Пример результата обработки изображения с использованием предложенного алгоритма:
 a — оригинальное изображение; b — обработанное изображение

Результаты. Для оценки работоспособности алгоритма в условиях, близких к реальным, была разработана модель носимого устройства на базе встраиваемой вычислительной платформы с подключенной видеокамерой. 3D-модель макетного образца устройства приведена на рис. 2.

На рис. 3 приведен график, иллюстрирующий изменение вероятности успешного распознавания лиц в зависимости от условий освещенности при использовании базового подхода и предложенного алгоритма предварительной обработки. Синий столбец соответствует работе системы без предварительной обработки изображений, оранжевый — работе системы с использованием предлагаемого алгоритма. В условиях хорошей освещенности значения для обоих вариантов работы системы близки друг к другу. В условиях низкой освещенности доля успешно обработанных кадров без предварительной обработки равна нулю, тогда как применение предлагаемого алгоритма увеличивает процент корректно распознанных кадров на 5,3 %.

Обсуждение. Результаты экспериментов показывают, что использование сравнительно простых по вычислительным затратам методов предварительной обработки позволяет повысить устойчивость системы распознавания лиц к ухудшению условий освещенности. Усиление деталей изображений в соче-

тании с адаптивным выравниванием яркости компенсирует недостаток контраста в тенях и делает лицевые признаки более различимыми для последующего распознавания. Отсутствие заметного влияния на качество работы системы при хорошей освещенности говорит о корректном выборе параметров алгоритма и отсутствии переусиления шума в базовом режиме. При этом фиксируемый прирост вероятности успешного распознавания на уровне около 5,3 % в условиях низкой освещенности является значимым в прикладных задачах, где важна надежность идентификации.



Рис. 2. 3D-модель устройства для отработки алгоритма в реальном времени

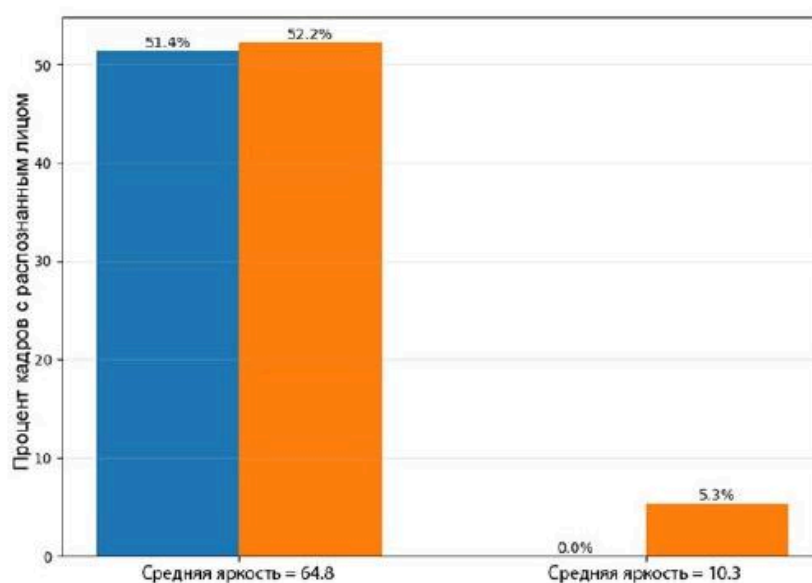


Рис. 3. Процент кадров с успешным распознаванием лица в условиях хорошей и низкой освещенности для системы без предварительной обработки и с использованием предлагаемого алгоритма

Заключение. В работе предложен алгоритм предварительной обработки видеокадров для систем дополненной реальности, предназначенных для распознавания лиц в широком диапазоне условий освещенности. Алгоритм сочетает усиление деталей с помощью оператора Лапласа и контрастно-ограниченную адаптивную эквализацию гистограммы в канале яркости цветового пространства LAB, что позволяет повысить вероятности успешного распознавания при низкой освещенности без негативного влияния на работу системы в нормальных условиях. Эксперименты на макетном образце носимого устройства показали возможность реализации предложенного подхода в режиме реального времени на встраиваемой вычислительной платформе. В дальнейшем планируется исследовать более сложные методы коррекции освещенности и цветовых кривых, в том числе с использованием обучаемых моделей, как возможное развитие предложенного решения.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по государственному заданию FSFN-2025-0015.

Список источников

- [1] ISO/CIE 11664-4:2019(E). Colorimetry — Part 4: CIE 1976 Lab* colour space. Geneva: International Organization for Standardization; Vienna: International Commission on Illumination, 2019. 8 p.
- [2] Zuiderveld K. Contrast limited adaptive histogram equalization. Graphics Gems IV. San Diego, Academic Press Professional, 1994, pp. 474–485.
- [3] Smith P.R. Bilinear interpolation of digital images. Ultramicroscopy, 1981, vol. 6, no. 2, pp. 169–174.