



УДК 681.5(05); 004(05)

В. В. Бутенко

Государственный морской университет им. адмирала Ф. Ф. Ушакова

Поиск границы радужки на изображении

Предложен алгоритм поиска границы радужки для использования ее в качестве точки интереса при слежении за направлением взгляда в видеопотоке. Статья открывает цикл публикаций, иллюстрирующих создание системы управления взглядом средствами доступной видеоаппаратуры.

Поиск границы радужки, преобразование Хафа, детектор Кенни, метод Лукаса–Канаде

Взаимодействие с устройствами посредством взгляда – один из самых предпочтительных и естественных способов управления, позволяющий задействовать преимущественно глазодвигательный аппарат, что удобно для людей с ограниченными физическими возможностями и людей, находящихся в условиях, когда другие виды управления использовать непрактично или невозможно. Этот вид взаимодействия быстро развивается и, несомненно, будет одним из самых предпочтительных в будущем.

Задача управления взглядом заключается в определении точки пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости экрана, на котором представлен некоторый зрительный раздражитель. Она содержит в себе ряд таких подзадач, как поккадровый анализ видеосъемки, изучение движения глаз, определение направления взгляда. Каждая из этих подзадач является актуальным направлением научных исследований, и решение одной повлияет на другие.

При использовании видеопотока, полученного в естественных условиях – в произвольное время суток и без дополнительной подсветки, – реализация управления представляет дополнительные сложности в связи с существенно изменяющимися контрастностью, средней яркостью и резкостью.

Само по себе распознавание объекта в видеопотоке не дает достаточной информации для определения направления взгляда, поэтому включение в алгоритм управления возможности слежения за отмеченным объектом (характерной точкой или точкой интереса) – важный пункт при поккадровом анализе.

Точкой интереса в рассматриваемом случае является точка на изображении области глаза,

характеризующаяся хорошо обнаруживаемыми параметрами: локальным максимумом или минимумом интенсивности, характерной геометрической формой и т. п. Подобными характерными точками могут выступить точки на границе радужки со склерой. Граница зрачка с радужной оболочкой не подходит в силу низкого контраста.

Характерные точки определяются на первом кадре видеопотока, на котором выделяются область лица и область глаз. На последующих кадрах отслеживается передвижение этих точек. При обнаружении запоминается их положение в момент калибровки при направлении взгляда в верхние и нижние углы экрана и строится таблица соответствия полученных данных точкам на плоскости экрана. На рис. 1 представлены координаты точек интереса при направлении взгляда в левый верхний угол рассматриваемой сцены (рис. 1, а) и в правый нижний угол (рис. 1, б).

Для поиска лица и глаз в видеопотоке рассмотрен ряд методов: метод Виолы–Джонса [1], метод построения гистограмм [2] и метод группировки признаков [3]. Последние 2 метода подходят для

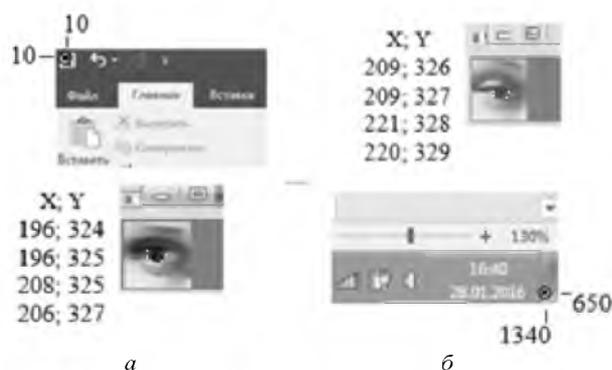


Рис. 1

поиска лиц, но плохо справляются с задачей поиска области глаз. Метод Виолы–Джонса является лучшим по соотношению показателей "эффективность распознавания/скорость работы". Он позволяет выделить лица с высокой точностью и низким количеством ложных срабатываний.

Метод Виолы–Джонса позволяет распознавать объекты на изображениях в реальном времени, применяя каскадные классификаторы Хаара для поиска, алгоритм адаптивного усиления при выборе наиболее подходящих признаков для искомого объекта и метод комбинирования классификаторов в каскадную структуру.

Метод Виолы–Джонса реализован программным методом `detectMultiScale` из библиотеки `OpenCV` [4]. Кадры видеоряда передаются этому методу до тех пор, пока область лица не будет найдена. В каждой найденной области лица этим же методом отыскивается область глаз.

Так как движения одного глаза независимо от другого у здорового человека невозможны (оба глаза всегда двигаются одновременно) для сокращения времени вычислений и удобства расчетов используются данные только по одному глазу, причем обработке подвергается только область кадра видеоряда, содержащая выделенную область с изображением глаза.

На полученном изображении детектором Кенни [5] выделяются границы. Этот детектор был выбран в результате сравнения с результатами, даваемыми пороговой бинаризацией и выделением по цвету [6], однако последними не была достигнута устойчивость к изменению освещенности, а также оказалось невозможно отделить радужку от ресниц и теней около глаза.

Детектор Кенни [7] предусматривает последовательное применение к двумерному набору пикселей, выделенных на изображении окном заданного размера, следующих операций:

- Сглаживания изображения операцией свертки с ядром, описываемым первой производной двумерной гауссоиды. Операция снижает чувствительность детектора к шумам изображения (фильтр может быть приближен первой производной гауссоиды).

- Выделения пикселей, относящихся к границам, оператором Собеля на матрице с размерами 3×3 . Оператор выделяет в качестве пикселей, относящихся к границам, те из них, на которых дискретный аналог градиента достигает локального максимума.

- "Сшивки" отдельных пикселей, выделенных оператором Собеля, в неразрывные фрагменты границы. С этой целью осуществляется прослеживание выделенных фрагментов с обработкой двухпороговой процедурой. Пиксель относится к граничным, если зафиксированный на нем локальный максимум градиента превышает установленный верхний порог, что обеспечивает дальнейшее снижение чувствительности к шумам. Кроме того оператор прослеживания обладал консервативностью, формирующей связные участки границы. Консервативность заключается в том, что после обнаружения граничного пикселя к фрагменту границы относятся соседние с ним до тех пор, пока в них значение градиента не окажется ниже нижнего порога. При динамическом диапазоне обрабатываемого сигнала яркости 256 нижний порог устанавливался примерно равным 100, верхний – примерно 250.

В описываемом в настоящей статье алгоритме для реализации детектора Кенни использована программа из библиотеки `OpenCV` [8].

При правильно подобранных параметрах детектор Кенни хорошо работает на зашумленных изображениях, позволяет выделить внутренние контуры объекта и исключить ошибочное обнаружение контуров там, где объектов нет.

На рис. 2, а представлены примеры изображений, полученных в естественной среде, на рис. 2, б – результаты их обработки детектором Кенни. В последних изображениях преобладают прямые линии и круги, которые можно детектировать с помощью преобразования Хафа.

Преобразование Хафа предназначено для поиска объектов, принадлежащих определенному классу фигур, с использованием процедуры голосования. Процедура голосования применяется к пространству параметров, из которого получают объекты определенного класса по локальному максимуму в накопительном пространстве (`accumulator space`), которое строится при вычислении трансформации Хафа [9]. Пиксели изображения опрашиваются всего один раз, дальнейшие вычисления производятся только для пикселей, несущих полезную информацию.

Преобразование Хафа основывается на представлении искомого объекта параметрическим уравнением. Параметры этого уравнения представляют фазовое пространство.

В двоичном изображении, содержащем пиксели, отнесенные к границе по результатам работы детектора Кенни, последовательно анализи-

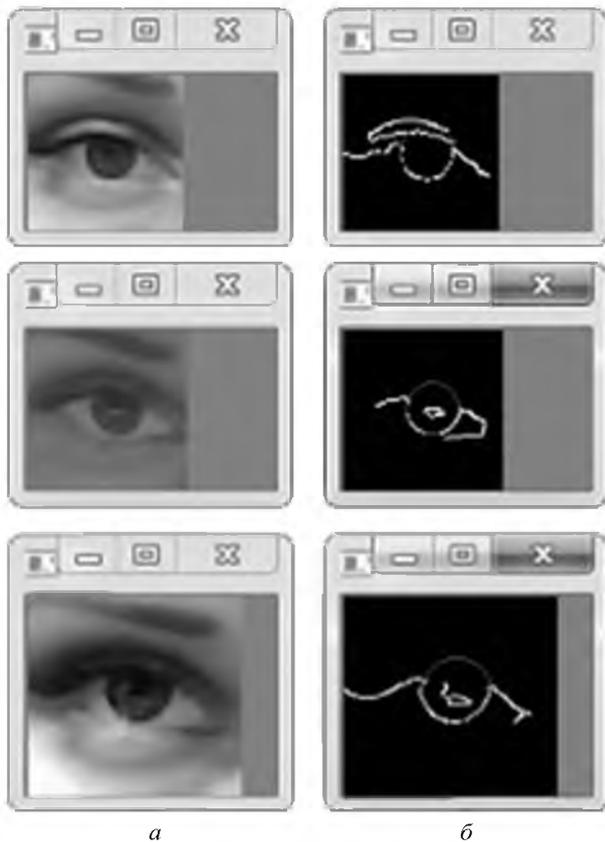


Рис. 2

ругуются все точки границ на принадлежность к искомому объекту (окружности, отображающей границу радужки со склерой). Для испытуемой точки рассчитываются параметры окружности и в параметрическом пространстве Хафа фиксируется факт получения этих значений. После испытания всех точек двоичного изображения в этом пространстве реализуется процедура голосования: выделяются и фиксируются в качестве истинных значения параметров, полученные в результате наибольшего количества испытаний.

Полученные преобразованием Хафа параметры окружности используются как предварительная оценка положения радужки на изображении для сокращения учитываемых в дальнейшей обработке пикселей. При отслеживании положения радужки в видеопотоке применяются координаты естественной границы, выделенной детектором Кенни.

Для отслеживания используются точки границы, которые в процессе калибровки меняют свое положение, неизменные точки не применяются.

Для слежения за объектом (точкой интереса) использован метод Лукаса–Канаде [10], реализованный в функции `cvCalcOpticalFlowPyrLK` библиотеки OpenCV [11].

Рассматривались и другие методы, например учитывающий аффинные искажения окрестности

точки метод Ши–Томасси–Канаде [12], учитывающий наряду с ними аффинные изменения освещенности окрестности точки метод Джин–Фаваро–Соато [13]. Однако, поскольку поиск точек проводится на мало различающихся последовательных кадрах, можно считать, что окрестность точки не искажается. Поэтому был выбран метод Лукаса–Канаде.

Метод позволяет зафиксировать смещение отслеживаемого объекта в последовательных анализируемых кадрах. Последовательность параметров объекта составляет характеристику его движения – векторное поле, в рамках метода называемое оптическим потоком [9]. Использование метода только на предварительно выделенных пикселях, относящихся к границе радужки, позволяет существенно сократить объем вычислений.

Метод Лукаса–Канаде позволяет получить смещения для каждого отслеживаемого пикселя. Метод использует дифференциальный подход, в основе которого лежит вычисление частных производных по горизонтальному и вертикальному направлениям.

Основное уравнение оптического потока содержит 2 неизвестных и не может быть однозначно разрешено. Неоднозначность разрешается за счет использования информации о соседних пикселях в каждой точке. Метод основан на предположении, что в локальной окрестности пикселя значение оптического потока одинаково. С учетом этого ограничения можно записать уравнение оптического потока для всех пикселей окрестности и решить полученную систему уравнений методом наименьших квадратов [9].

В настоящей статье представлена последовательность процедур, обеспечивающих выделение на изображениях, полученных в реальных условиях, границы радужной оболочки глаза со склерой, с дальнейшим отслеживанием движения этой границы в последовательности кадров.

На первом кадре видеоряда методом Виолы–Джонса определяются область лица и область глаз. Остальная часть изображения далее не используется.

Затем на основе детектора границ Кенни выделяются пиксели, лежащие на границе радужной оболочки, после чего методом Лукаса–Канаде отслеживается их смещение в последовательности кадров. В результате обработки формируется оптический поток (терминология метода Лукаса–Канаде), который в дальнейшем может быть использован для создания системы управления на основе отслеживания направления взгляда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Viola P., Jones M. J. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features // IEEE Comp. Soc. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 8–14 Dec. 2001, Kauai, USA. Piscataway: IEEE, 2001. Vol. 1. P. 511–518.
2. Kotropoulos C., Pitas I. Rule-Based Face Detection in Frontal Views // IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 97), 21–24 April 1997, Munich, Germany. Piscataway: IEEE, 1997. Vol. 4. P. 2537–2540.
3. Yow K. C., Cipolla R. Feature-Based Human Face Detection // Image and vision computing. 1997. Vol. 15, iss. 9. P. 713–735.
4. Haar Feature-Based Cascade Classifier for Object Detection: OpenCV v. 2.4.12.0 documentation. URL: http://docs.opencv.org/2.4/modules/objdetect/doc/cascade_classification.html (дата посещения 28.02.2016).
5. Canny J. Computational Approach to Edge Detection // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8, № 6. P. 679–698.
6. Матвеев И. А., Чинаев Н. Н. Выделение зрачка на изображении глаза преобразованием Хафа границ компонент связности // 24-я Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению (ГрафКон'2014), Ростов н/Д, 30 сент.–3 окт. 2014 / Академия архитектуры и искусств ЮФУ. Ростов н/Д, 2014. С. 115–118.
7. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Trans. on Pattern Analysis And Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8, № 6. P. 679–698.
8. Kaehler A., Bradski G. Computer Vision in C++ with the OpenCV Library. Sebastopol, USA: O'Reilly Media, 2013. 575 p.
9. Learning Image Processing with OpenCV / G. B. Garcia, O. D. Suarez, J. L. E. Aranda, J. S. Tercero, I. S. Gracia. Birmingham: Packt Publishing, 2015. 232 p.
10. Lucas B. D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision // Proc. 7th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI'81), Vancouver, Canada, Aug. 1981. P. 674–679.
11. Motion Analysis and Object Tracking: OpenCV v. 2.4.12.0 documentation. URL: http://docs.opencv.org/2.4/modules/video/doc/motion_analysis_and_object_tracking.html (дата посещения 28.02.2016).
12. Shi J., Tommasini C. Good Features to Track // Proc. 13th Comp. Soc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 1994), 21–23 June 1994, Seattle USA. Piscataway: IEEE, 1994. P. 593–600.
13. Jin H., Favaro P., Soatto S. Real-Time Feature Tracking and Outlier Rejection with Changes in Illumination // Proc. 8th IEEE Int. Conf. on Computer Vision (ICCV 2001), Vancouver, Canada, 7–14 July 2001. Vol. 1. P. 684–689.

V. V. Butenko

Admiral Ushakov Marine State University

Search boundaries of iris on picture

An algorithm for search boundaries of iris as a point of interest in the tracking direction of view in video stream. It is the first of a planned series of publications that illustrate creation of control system using available view video equipment.

Iris recognition, Hough transform, Canny edge detector, Lucas-Kanade method

Статья поступила в редакцию 28 января 2016 г.
