

ИНТЕРФЕЙС ИНФРАКРАСНОЙ ОКУЛОГРАФИИ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА СВЕТЛОГО ЗРАЧКА

Я.А. Туровский

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: yaroslav_turovsk@mail.ru

В.Ю. Алексеев

Воронежский государственный университет
Россия, 394018, Воронеж, Университетская пл., 1
E-mail: va413@mail.ru

Ключевые слова: интерфейс человек-компьютер, окулоинтерфейс, цифровая обработка сигналов, эргатическая система.

Аннотация: В работе рассматривается интерфейс инфракрасной окулографии, разработанный авторами. Представлены физический эффект, лежащий в основе интерфейса, а также аппаратные и программные особенности реализованного устройства. Показывается, что в полученное в ходе разработки решение имеет высокую точность распознавания направления взгляда пользователя и может быть использован для решения практических задач управления эргатическими системами с помощью взгляда пользователя.

1. Введение

В промышленных комплексах целесообразно внедрять системы для слежения за вниманием операторов, чтобы мониторить их фокусировку на различные элементы, такие как экраны и пульты управления. Действительно, это потенциально позволит усовершенствовать рабочие процессы, избавляя от необходимости постоянного ручного надзора за работой операторов и уменьшая риск ошибок, возникающих в следствие человеческого фактора. Обычно, степень сосредоточенности оператора на устройстве ввода-вывода информации оценивают, отслеживая частоту и характер взаимодействия оператора с интерфейсами ввода конкретного устройства.

Однако, данный подход не учитывает визуальное взаимодействие с объектом. Для этого требуются особые технические и программные решения, применяющие методы окулографии [1]. В представленной работе рассматривается использование метода инфракрасной окулографии [2] для распознавания направления взгляда в режиме реального времени, используемые аппаратное и программное решения.

2. Физическое явление, используемое для реализации интерфейса

В основе метода инфракрасной окулографии лежит особенность человеческого глаза, заключающаяся в том, что в склера и зрачок по-разному отражают инфракрасное (ИК) излучение. В зависимости от взаимного расположения источника ИК излучение и

регистрирующего отраженное излучение фоточувствительного элемента, возможно возникновение двух эффектов – светлого зрачка (рис. 1а) и темного зрачка [3] (рис. 1б).

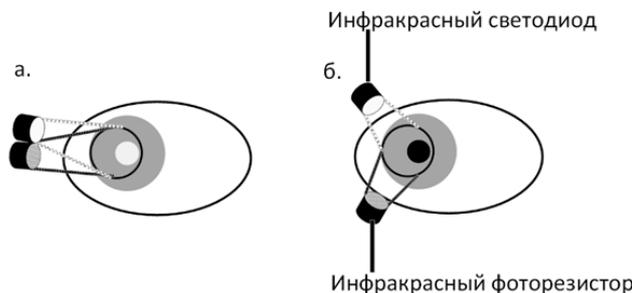


Рис. 1.а) Эффект светлого зрачка. б) Эффект темного зрачка.

Эффект светлого зрачка происходит, когда источник излучения расположен близко к линии взгляда фоточувствительного элемента. В этом случае свет отражается от сетчатки глаза, которая кажется светлой. Эффект темного зрачка возникает, когда источник света расположен не на линии взгляда фоточувствительного элемента, а под другим углом. В таком случае свет, попадающий в глаз, не отражается напрямую на фоточувствительный элемент, и зрачки выглядят темными, так как большая часть света поглощается внутри глаза [4].

3. Особенности анализируемых данных

В рассматриваемой реализации использовался эффект светлого зрачка. При этом, датчики, представляющие собой пару из ИК светодиода и ИК фоторезистора, располагаются вокруг глаза и имеют определённую область чувствительности. В следствие используемого эффекта, количество ИК излучения, регистрируемого конкретным датчиком, увеличивается при приближении зрачка к центру области чувствительности датчика и принимает там максимальное значение (рис. 2а), и наоборот, уменьшается при удалении от неё (рис. 2б), вплоть до условного значения ИК фона окружения (рис. 2в), в котором находится оператор.

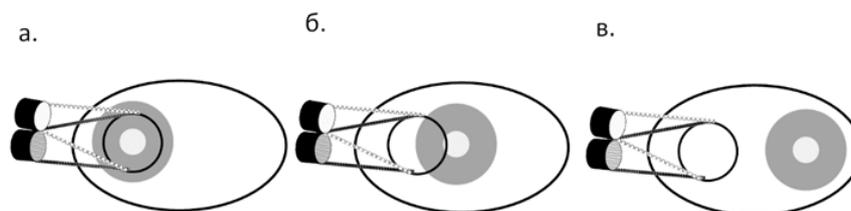


Рис. 2.а) Зрачок в центре области чувствительности датчика. б) зрачок на границе области чувствительности датчика. в) зрачок вне поля чувствительности датчика.

4. Аппаратная реализация

Аппаратная часть рассматриваемого интерфейса представляет собой набор из 4-х датчиков, подключенных к аналоговым входам микроконтроллера Arduino Nano (рис. 3). Считывание напряжения на фоточувствительных элементах осуществляется с помощью встроенного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера.

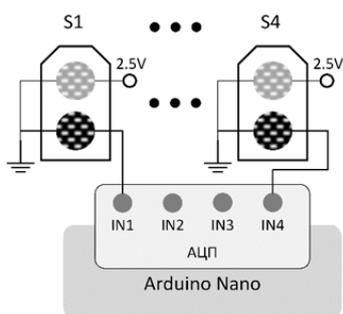


Рис. 3. Схема подключения элементов аппаратной части окулоинтерфейса.

Датчики крепятся на очках и располагаются вокруг глаза оператора. Одна из возможных конфигураций расположения датчиков представлена на рис. 4.

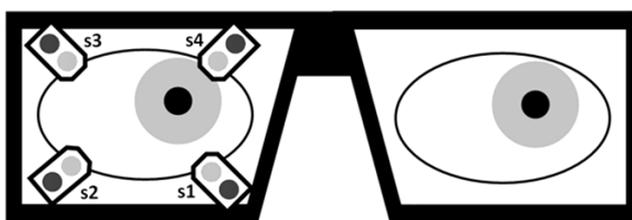


Рис. 4. Схема подключения элементов аппаратной части окулоинтерфейса.

5. Программная реализация

В первую очередь является необходимым оценить интенсивность ИК фона в окружении оператора и удалить его из анализируемого сигнала. Количество отраженного ИК излучения на конкретном датчике рассчитывается по формуле:

$$(1) \quad I_{\text{чист}} = I_{\text{зашум}} - I_{\text{фон}},$$

где $I_{\text{фон}}$ – величина регистрируемого ИК излучения без включенной подсветки на ИК светодиоде, $I_{\text{зашум}}$ – величина регистрируемой светимости с включенной подсветкой на ИК светодиоде, $I_{\text{чист}}$ – количество ИК излучения, отраженного от глаза, без учета фонового ИК излучения

Под данным о светимости, считанным с каждого из датчиков, обучается модель регрессии, предсказывающая область внимания оператора. В качестве данных, используемых для построения регрессионной модели окулоинтерфейса, были использованы:

- Вектор признаков $x^i = [s1^i, s2^i, s3^i, s4^i]$, где $s1^i, s2^i, s3^i, s4^i$ – значения мощности светового потока, регистрируемые каждым из фоторезисторов на i -й итерации регистрации данных.
- Целевые значения $y^i = [angle_{hor}^i, angle_{vert}^i]$, где $angle_{hor}^i$ и $angle_{vert}^i$ – отклонения глаза по горизонтали и по вертикали в градусах, рассчитываемые как:

$$(2) \quad angle_{hor}^i = (Pix_{width}^i - Pix_x) * PPC,$$

$$(3) \quad angle_{vert}^i = -(Pix_{height}^i - Pix_y) * PPC,$$

где Pix_{width} – ширина экрана, с которым взаимодействует оператор, в пикселях, Pix_{height} – высота экрана в пикселях, Pix_x – координаты точки, на которой сконцентрировано внимание оператора, в пикселях по горизонтали на i -й итерации регистрации данных, Pix_y – координаты данной точки в пикселях по вертикали на i -й

итерации регистрации данных, PPC – количество пикселей на сантиметр для конкретного экрана.

В виду того, что в персональных компьютерах точка начала координат в пикселях – левый верхний угол экрана, то значение угла отклонения по вертикали в формуле (3) было взято со знаком минус.

Модель линейной регрессии с предобработкой входных признаков[5], использующая ранее обозначенные векторы признаков и векторы целевых значений для обучения и последующего предсказания углов отклонения глаза оператора и, следовательно, точек внимания оператора на экране, представлена на рис. 5.

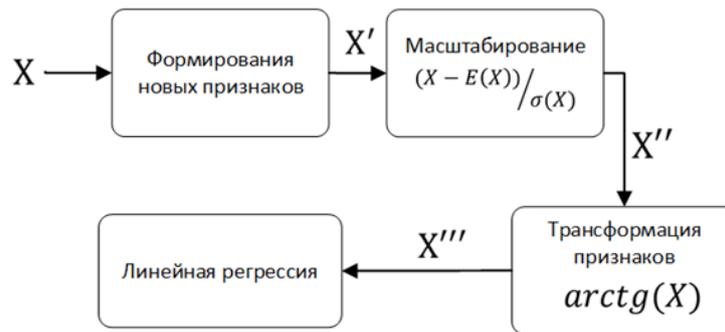


Рис. 5. Модель регрессии окулоинтерфейса.

6. Результаты работы интерфейса

Демонстрация качества работы разработанного прототипа окулоинтерфейса и используемой регрессионной модели для 4-х испытуемых представлены на рис. 6. На каждом из графиков 5 фигур различной формы и 2-х размеров. Форма фигуры отображает порядковый номер точки, на которую смотрит пользователь. Большие фигуры показывают углы отклонения глаза, априорно посчитанные для каждой точки, на которую обращает внимание оператор. Малые фигуры показывают предсказанные регрессионной моделью углы отклонения глаза оператора по горизонтали и по вертикали.

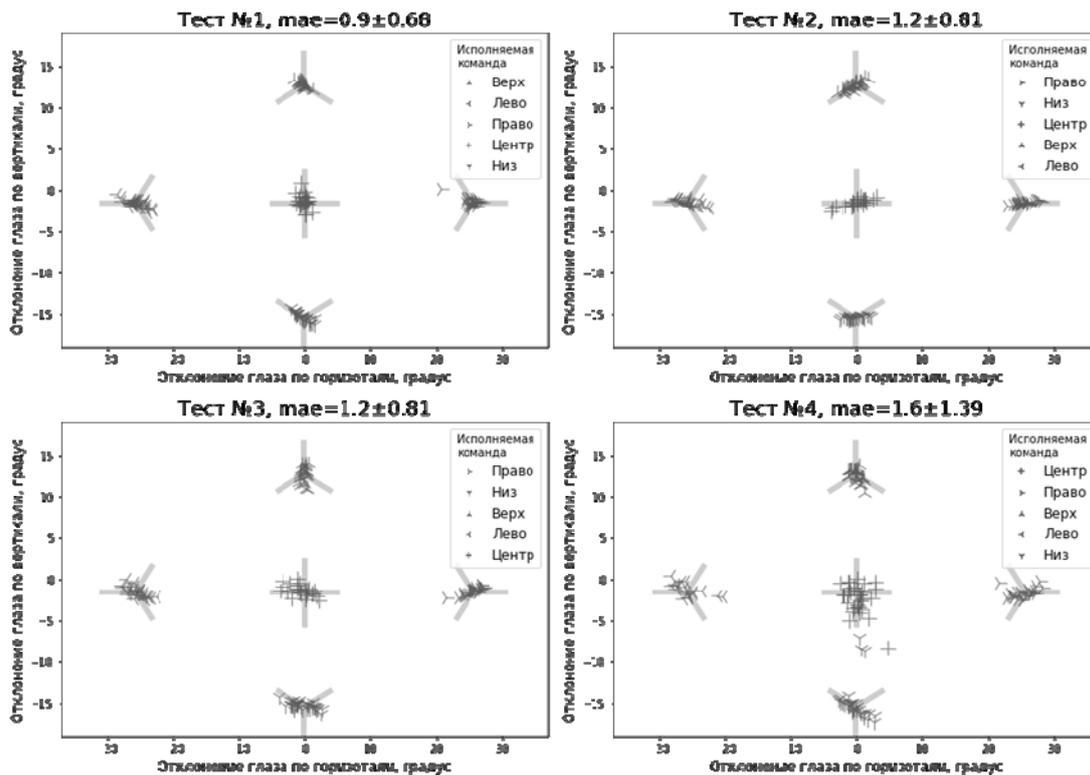


Рис. 5. Демонстрация предсказаний модели регрессии окулоинтерфейса.

7. Заключение

Данная версия инфракрасного окулоинтерфейса демонстрирует высокую точность в распознавании маркера, на который обращено внимание пользователя. Среди достоинств выделяется простота разработки аппаратной базы, возможность использования простых методов обработки данных и алгоритмов для получения результатов, которые могут иметь исследовательскую и прикладную направленность [6]. Однако непосредственные предсказания углов отклонения глаза пользователя имеют дальнейшее пространство для улучшения.

Список литературы

1. Барабанщиков В.А., Жегалло А.В. Методы регистрации движений глаз: теория и практика // Психологическая наука и образование psyedu.ru. 2010. Т. 2, № 5. С. 240-254.
2. Rigas I., Raffle H., Komogortsev O. Photosensor Oculography: Survey and Parametric Analysis of Designs Using Model-Based Simulation // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. 2018. Vol. HMS-48, No. 6. P. 670-681. doi:10.1109/THMS.2018.2807244.
3. Hansen D., Ji Q. In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2010. Vol. PAMI-32. P. 478-500. doi:10.1109/TPAMI.2009.30.
4. Li Zh., Guo P., Song Ch. A review of main eye movement tracking methods // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1802, No 042066.
5. Вьюгин. В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М. : МЦМНО, 2013. 390 с.
6. Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Алексеев А.В. Анализ движения глаз человека при управлении самоходным шасси с использованием системы видеоокулографического интерфейса // Сенсорные системы. 2017. Т. 31, № 1. С. 51-58.