

УДК 519.95+004.422

АЙТРЕКИНГ: КОГНИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВИЗУАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ

© Г.И. Фазылзянова, В.В. Балалов

Ключевые слова: визуальная культура; дизайн; айтрекинг; гейзтрекинг; окулография; айтрекер.

Метрологическое обеспечение для получения объективных данных о характере визуального взаимодействия потребителя с продуктами дизайна основано на применении методов слежения за движениями глаз и направлениями взгляда. Целью настоящей статьи является составление обзора последних исследований применения методов айтрекинга для оценки качества графической и мультимедийной продукции. Рассмотрены применение систем айтрекинга в визуальном поиске, маркетинге и рекламе, нейронауке, психологии и интерфейсе человек-компьютер (ИЧК). Описаны методы регистрации положения и движений глаза: электроокулография, склеральные поисковые витки, инфракрасная окулография и видеоокулография. Основное внимание уделено методам оценки взгляда, основанных на интерпретации изображений и анализе полученных данных. Оценки взгляда по чертам лица и по характеристикам изображения представляют собой две группы экспериментальных методов. Метод оптического отклика находит и отслеживает глаза непосредственно на основе фотометрических эффектов. Будущее развитие айтрекинга нуждается в стандартизации метрологических параметров, которые используются в качестве метрики движения глаз, а также способа представления этих данных и метода их интерпретации для проектирования интерфейса человек-компьютер. В нем содержатся основные термины и определения, недавние достижения в этой области и, наконец, необходимость будущего развития в области визуальной культуры.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современная дизайнерская деятельность требует дополнительного инструментария для оценки качества графической и мультимедийной продукции, в т. ч. с психологической и эргономической точек зрения. Хороший дизайнер думает не только о том, чтобы было красиво, но и как его продуктом будут пользоваться люди. Метрологическое обеспечение для получения объективных данных о характере визуального взаимодействия потребителя с продуктами дизайна может быть основано на применении методов слежения за движениями глаз и направлениями взгляда.

Кроме того, в рамках социально-гуманитарных наук в последние годы формируются новые интегральные парадигмы знания, методология которых строится на активном включении в объект и инструментарий познания (сogno) таких феноменов, как «текст–дискурс» (визуальный семантический дифференциал) и «текст–образ–визуализация». Данные феномены отражают, сохраняют, акцентируют и творят новые нарративные характеристики визуальной культуры в той мере, в которой адекватно интерпретируется и понимается определенным субъектом [1].

Изучение движения глаз может определить, о чем люди думают, на основе того, куда они смотрят. С помощью когнитивных технологий возможно по миллисекундам восстанавливать, что интересовало человека, на что он посмотрел, что стало предметом его внимания. Новые психодиагностические возможности трекинга глаз продемонстрированы в работе А.С. Огнева и др. [2], среди которых детекция лжи методом множественных сравнений зрительных образов; выявление способов установления смысловых связей между текстовыми и рисуночными стимулами; тестирование

испытываемых методом визуального семантического дифференциала и визуально-вербального семантического дифференциала.

Айтрекинг – это методология слежения за движением и активностью глаз, а гейзтрекинг – это определение направления взгляда и точки наблюдения, анализ данных айтрекинга по отношению к голове и наблюдаемой сцене. В исследованиях в этой области часто используются термины: айтрекинг, гейзтрекинг или айгейзтрекинг, которые взаимозаменяемы. Айтрекинг чаще используется в таких приложениях, как обнаружение сонливости [3], диагностике различных клинических условий или распознавание радужной оболочки глаза [4]. Методы гейзтрекинга могут применяться во всех ситуациях, в которых человеческие глаза выполняют полезные функции, например, в технологии печатания глазами для инвалидов [5], познавательной и поведенческой терапии [6], визуальном поиске [7], маркетинге и рекламе [8], нейронауке [9], психологии [10] и интерфейсе человек – компьютер (ИЧК) [11–12].

Вычисление положения точки взгляда в визуальной сцене, как правило, основано на данных о положении глаз и головы наблюдателя. Простые айтрекеры определяют только направление взгляда по отношению к голове применительно к системам, закрепленным на голове, электродов, склеральных колец или для фиксированного положения глазного яблока в системах, требующих фиксации головы. Такие системы айтрекинга обычно называют контактными, или проникающими системами, поскольку несколько специальных приборов прикрепляются к коже или глазу, чтобы уловить взгляд наблюдателя [13]. Системы, которые не имеют физического контакта между наблюдателем и аппаратурой айтрекера, называют бесконтактными системами или удаленными системами [14].

2. МЕТОДЫ АЙТРЕКИНГА

Метод регистрации положения и движений глаза называется окулографией. Для слежения за взглядом применяются следующие четыре метода: электроокулография, склеральные поисковые витки, инфракрасная окулография и видеоокулография [15].

2.1. ЭЛЕКТРООКУЛОГРАФИЯ

В этом методе на коже вокруг глаз закрепляются сенсоры для измерений электрических полей, возникающих при повороте глаз. Положение глаза определяется по регистрации малых разностей потенциала вокруг глаза. Правильный выбор положения электродов позволяет отдельно зарегистрировать горизонтальные и вертикальные движения глаз. Однако сигнал может изменяться, даже если глаза неподвижны. Данный метод не подходит для ежедневного применения, т. к. требуется плотный контакт электродов к человеку. Часто он применяется в клинической практике.

К преимуществам метода электроокулографии относятся его дешевизна, простота и контактный метод регистрации конечных движений глаз. Значительным преимуществом данного метода является способность определять движения глаз даже когда они закрыты, т. е. во время сна [16].

Проект MONEOG [17] и проект Eagle Eyes [18] успешно применяют метод электроокулографии для айгейтрекинга. Так, проект Eagle Eyes помогает людям с ограниченными физическими возможностями управлять компьютером с помощью движения их глаз.

2.2. СКЛЕРАЛЬНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ВИТКИ

Если виток проводника движется в магнитном поле, то поле индуцирует напряжение в витке. Если виток закреплен на склеральной капсуле глаза, то возникает сигнал о положении глаза. Для того чтобы измерить движения человеческого глаза, малые витки проводника вводятся в усовершенствованные контактные линзы. Это устройство вставляется в глаз после введения локальной анестезии. Интегрированное в контактную линзу зеркало позволяет измерять отраженный свет. Кроме того, интегрированный виток в контактной линзе допускает определение ориентации витка в магнитном поле. Преимущество такого метода состоит в высокой точности и почти неограниченном разрешении во времени. Недостаток состоит в том, что это проникающий метод, который требует введения постороннего предмета в глаз. Для лучшего понимания, до сих пор этот метод айтрекинга не применялся для интерфейса человек – компьютер. Чаще он применяется в медицинских и психологических исследованиях. Chronos Vision [19] и Skalar Medical [20] применяют метод склеральных поисковых витков для айтрекинга относительно положения головы.

2.3. ИНФРАКРАСНАЯ ОКУЛОГРАФИЯ

Инфракрасная окулография измеряет интенсивность отраженного инфракрасного света. В этом методе айтрекинга глаз освещается инфракрасным светом, который отражается склерой. Разница между количеством инфракрасного излучения отраженным обратно от

поверхности глаза несет информацию об изменениях положения глаз. Источник света и сенсоры могут быть размещены на сферических стеклах. Следовательно, этот метод также проникающий.

Инфракрасная окулография имеет меньше шума, чем электроокулография, но является более чувствительной к изменениям уровня освещенности в целом.

Основным недостатком этого метода является то, что он может измерить движение глаз только в диапазоне около $\pm 35^\circ$ вдоль горизонтальной оси и $\pm 20^\circ$ вдоль вертикальной оси.

Новые применения могут быть найдены в исследовательских системах JAZZ-novo [21] и Saccadometer [22]. Эти системы спроектированы для измерения движений глаз в процессе контроля методом магнитной резонансной томографии. Преимущества включают способность измерять движение глаз в темноте. Инфракрасная окулография применяется в слежении за взглядом с помощью программ обработки изображений. Существуют три разновидности инфракрасной окулографии, которые используются на практике: отражение от роговицы, изображения Пуркинье и след от зрачка. Эти принципы применяются в большинстве имеющихся на рынке айтрекеров: Intelligaze IG-30 [23], EyeMax System [24], EyeTech Digital Systems [25] и SeeTech [26].

2.4. ВИДЕООКУЛОГРАФИЯ

Видеоайтрекинг является наиболее широко используемым методом в коммерческих приборах. До недавнего времени слежение за направлением взгляда являлось чрезвычайно сложной и дорогостоящей задачей, которая была ограничена только лабораторными исследованиями. Однако стремительные технологические достижения, такие как возросшее быстродействие процессоров, современные технологии цифровой видеобработки, понизили стоимость и существенно увеличили эффективность оборудования айгейзтрекинга.

В видеоокулографии применяется одна или несколько камер для определения движения глаз с помощью информации, полученной из зарегистрированных изображений. Видеосистемы айтрекинга могут быть агрессивными и неагрессивными по отношению к глазам человека. Каждый тип системы делится на две категории в зависимости от используемого вида источника света: видимый свет или инфракрасный свет. Активные системы, или системы, устанавливаемые на голове, обычно состоят из одной и более камер [13]. Пассивные, или удаленные системы являются наиболее важными предметами в интерфейсе человек – компьютер (ИЧК) [14, 27].

В настоящей работе рассматриваются удаленные видеосистемы айтрекинга. Это удивительно, что можно найти большое разнообразие систем слежения за взглядом [28–32]. Однако их принцип представляется одним и тем же, изображение глаза, регистрируемое камерой, будет изменяться, когда глаз поворачивается или перемещается в трехмерном пространстве. Системы ударенного айтрекинга, которые представлены в литературе, могут быть классифицированы на две группы: однокамерные айтрекеры и многокамерные айтрекеры. Ниже детально рассматривается конфигурации систем айтрекинга без рассмотрения их сложных математических моделей.

2.4.1. Айттрекер с одной камерой

Большинство видов айттрекеров работают с помощью освещения глаза источником инфракрасного света. Свет образует блик на роговице глаза и называется роговичным отражением. В большинстве опубликованных работ блик используется как опорная точка для измерения взгляда. Вектор разности зрачок-блик остается постоянным, когда глаз или голова движется. Блик очевидным образом меняет положение, когда движется голова, изменяется направление взгляда. Но менее очевидно, что блик сдвигается в другую позицию, когда меняется направление взгляда.

В одной из пионерских работ в 1974 г. была применена одна камера, набор зеркал и единственный источник освещения для того, чтобы достичь желаемого эффекта [33]. Несколько коммерческих систем основаны на технологии одной камеры и одного инфракрасного источника света, такой как трекер от LC [34]. Несколько систем включают второй источник света, как одна из моделей Eyeteck [25]. В другой работе предложена система измерения взгляда с одной камерой закрепленной на мониторе и применяется пошаговый метод обучения. Эта система также оценивает положение головы с помощью трехмерной сетки на лице [35]. Однокамерная система с одним источником света разработана и описана в статье [36].

Предложена система, которая использует единую стереосистему для того, чтобы вычислить положение головы в трехмерном пространстве и определить пространственное положение глазного яблока [37]. Похожий подход был предложен [38]. Аналогичный подход также рассматривает модель оценки положения глаза с помощью одной камеры и дисплея монитора, который служит источником света [39]. Описана система мониторинга движения головы и глаз для безопасности водителя с одной камерой [40]. Предложен удаленный метод оценки взгляда, основанный на трекинге мимики лица с помощью одной камеры [41]. Другой метод оценки глаз и взгляда только с применением одной камеры и основанный на обнаружении радужной оболочки [42]. Предложен метод слежения за зрачком, основанный на фильтрации частиц с помощью активного инфракрасного источника и камеры [43]. Предложена система гейзтрекинга, основанная на веб-камере и без использования инфракрасного света, что является преимуществом для расширения приложений систем айттрекинга [44]. Единственная камера и четыре источника инфракрасного света, а также распределение серого в видеокadre используются для получения роговичных бликов и центра зрачка [45].

Основным недостатком всех перечисленных систем с фиксированной единственной камерой является ограниченное поле зрения, требуемое для регистрации достаточно качественных изображений с высоким разрешением. Добавление множественных источников света в установку будет обеспечивать лучшие результаты, чем с единственным источником. Первым удаленным айттрекером с одной камерой с высокой точностью (около одного градуса) и хорошей устойчивостью к движениям пользователя была коммерческая система Tobii [46], однако информация о ее применении не доступна. Несколько академических групп построили системы с одной камерой, среди них [47–49].

Улучшение системы осуществлено путем использования двух источников и одной камеры [50]. Также улучшением было внедрение метода вычисления 3D

позиции глаза и его направления взгляда от одной камеры и как минимум двух источников света [51]. Авторы утверждают, что это допускает свободное перемещение головы. Была разработана система с изображением в реальном времени, установка которой включает одну камеру с тремя CCD матрицами и двумя источниками света [52]. Камера размещена немного ниже центра экрана. Четыре источника размещены по углам плоской поверхности (экрана) для того чтобы была возможность сравнить и применить метод поперечного отношения [30, 53–54]. Предложена интеллектуальная схема контроля для удаленного гейзтрекинга, который включает камеру стандартного разрешения и четыре инфракрасных источника света [55].

2.4.2. Мультикамерный айттрекер

Большое поле зрения требуется, чтобы допускать свободные движения головы, а ограниченное поле зрения необходимо, чтобы зарегистрировать изображение глаз с достаточно высоким разрешением и обеспечить надежные измерения взгляда. Несколько камер применяются для того, чтобы достигнуть этих целей или с помощью камер с широкоугольными объективами, либо подвижных камер с телеобъективами (узкоугольными). Мультикамерные системы, описанные в литературе, применяют или отдельные камеры для каждого глаза или используют одну камеру для слежения за положением головы для компенсации изменения положения головы. Затем комбинируют информацию со всех камер для оценки точки взгляда. Предложена система айгейзтрекинга, в которой две видеокamеры установлены под экраном монитора и инфракрасный источник установлен вблизи одной из камер для того, чтобы получить блик на изображении глаза. Следовательно, вектор зрачок-блик может быть измерен по зарегистрированным изображениям глаз. В добавление, обе камеры калибруются, чтобы они образовали систему стереозрения, так чтобы 3D координаты центра зрачка могли быть вычислены. Определенные 3D координаты центра зрачка будут связаны с измеренным 2D вектором зрачок-блик, чтобы служить входными данными для функции, отображающей точки взгляда [56].

Представлена система с четырьмя камерами: две широкоугольных стереокамеры и две стереокамеры с узким полем зрения. Две телекамеры, которые размещены около нижнего угла монитора, регистрируют изображения с высоким разрешением глаза для гейзтрекинга. Благодаря узкому полю зрения, быстрые движения головы будут опережать панарамные наклоны головы как целого. Таким образом, панарама и наклон управляются с помощью поворотных зеркал высокого качества.

Две широкоугольных системы размещены сразу под центром нижней стороны экрана монитора. Ось стереосистемы ориентирована вертикально, т. к. это оптимизирует стереосъемку крупных черт лица, которые преимущественно имеют горизонтальные края [57]. Похожая система была предложена, но в отличие от других систем применяли камеру с одним узким полем зрения вместо двух [58]. Была разработана и применена система гейзтрекинга со свободной головой. Устройство позиционирования глаза включает набор стереокамер, который состоит из двух NTSC камер. Они размещены на дисплее монитора. Устройство гейзтрекера имеет NTSC камеру, чувствительную к диапазону, близкому к инфракрасному и размещенную на основании с трансляционными и поворотными сте-

пенями свободы. Линейка LED (светоизлучающих приборов), близких к инфракрасному спектру, также размещена под камерой. Однако область измерений может быть расширена путем замены объективов стереокамер (фокусного расстояния и угла сходимости) [59]. Предложена система, состоящая из пары стереокамер и трех инфракрасных LED [60]. Разработана упрощенная 3D технология гейзтрекинга с парой стереокамер с двумя источниками света [61]. В другой системе применены пять инфракрасных источников света и две камеры [62].

Представлена двухкамерная система, которая обнаруживает лицо с помощью фиксированной широкоугольной камеры, оценивает грубо размещение областей вблизи глаз, используя детектор глаз, основанный на топографических особенностях черт лица, и направляет другую активную трансляционно-поворотную камеру с функцией приближение/удаление для фокусировки на область вокруг глаз [63].

3. МЕТОДЫ ГЕЙЗТРЕКИНГА

Системы видеоокулографии получают информацию от одной или нескольких камер, т. н. данные изображения. Первый шаг заключается в обнаружении положения глаз на изображении. Направление взгляда может быть определено по данным, полученным из области вокруг глаз и о положении головы. Наиболее важными элементами человеческого глаза являются: зрачок – диафрагма, которая пропускает свет внутрь глаза; радужная оболочка – цветная мускульная группа, которая управляет диаметром зрачка, и склера – белый защитный слой, который покрывает внутренние структуры глаза. Обнаружение и слежение за глазами остается до сих пор очень сложной задачей из-за ряда уникальных проблем, включая освещение, угол наблюдения, моргание глаза, положения головы и др. Два типа процессов получения изображений обычно применяются в видеоайтрекинге: изображения в видимом и инфракрасном спектре. Инфракрасный айттрекинг типично основан на методах либо светлого зрачка, либо темного зрачка [51]. В настоящей работе основное внимание уделено методам оценки взгляда, основанным на интерпретации изображений и анализе полученных данных. Оценки взгляда по чертам лица и по характеристикам изображения представляют собой две группы экспериментальных методов [30].

3.1. ОЦЕНКА ВЗГЛЯДА ПО ЧЕРТАМ ЛИЦА

Методы, основанные на чертах лица, используют характеристики человеческого глаза для идентификации набора отличительных черт глаза, такие как контура (внешний контур, или форма глаз, контур зрачка), веки и отражения от роговицы являются наиболее часто используемыми для оценки взгляда. Идентификация информативных локальных особенностей глаз, которые обычно менее чувствительны к изменениям в освещении и точке наблюдения, является целью методов, основанных на чертах лица [64]. Подобные системы имеют проблемы реализации на открытом пространстве или при интенсивном окружающем освещении. В дополнение, точность оценки взгляда снижается, если радужная оболочка или зрачок не доступны. Геометрическая и интерполяционная модели применяются для оценки взгляда методом черт лица.

3.1.1. Геометрический подход

Геометрический подход применяет явную геометрическую модель глаза для определения 3D вектора направления взгляда. Большинство 3D геометрических методов основано на метрической информации и, таким образом, требует калибровки камеры и глобальной геометрической модели (внешней по отношению к глазу), координат источников света, камеры и монитора и их ориентации. Применяется общий алгоритм: сначала оптическая ось глаза восстанавливается в 3D пространстве, затем восстанавливается оптическая ось направления наблюдения, и наконец определяется точка взгляда путем построения пересечения оптической оси направления наблюдения с геометрической конфигурацией сцены. Восстановление оптической оси глаза выполняется путем определения центров роговичной оболочки и зрачка. Далее находится точка наблюдения с помощью определения вектора направления взгляда и данных об объектах сцены [30]. Для подхода, основанного на 3D геометрической модели, направление взгляда определяется как вектор, направленный от центра глазного яблока в центр радужной оболочки [41, 45, 63, 65–68].

3.1.2. Интерполяционный подход

Эти методы предполагают, что преобразование из характеристик изображения в координаты наблюдения (2D или 3D) имеет параметрическую форму или полиномиальную или непараметрическую форму подобную нейросети. В первом видеоайтрекере [33] использовалась простая линейная функция отображения. В настоящее время полиномиальные функции стали наиболее распространенной методикой преобразования данных [14, 58, 69].

Методы, основанные на интерполяции, позволяют избежать точного моделирования геометрии и физиологии человеческого глаза, но вместо этого описывают точку взгляда как универсальную функцию характеристик изображения. Данные калибровки используются для вычисления неизвестных коэффициентов отображающей функции с помощью процесса численного сглаживания, такого как множественная линейная регрессия.

Альтернативой параметрическим функциям служит айттрекеры, основанные на алгоритмах нейросетей [70–72], в которых предполагается непараметрическая форма для преобразования их характеристик изображения в координаты наблюдения. В этих подходах гейзтрекинг сделан путем извлечения координат определенных точек на лице и пересылки их через «обученную» нейросеть. Выходом их являются координаты той точки, в которую смотрит пользователь.

3.2. ОЦЕНКА ВЗГЛЯДА ПО ФАКТИЧЕСКОМУ ВИДУ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Метод оптического отклика находит и отслеживает глаза непосредственно на основе фотометрических эффектов. Метод оптического отклика использует конфигурацию и характеристики изображения для определения направления взгляда с помощью преобразования данных в координаты экрана [73–74]. Большинство этих методов [75] основаны на преобразуемой модели [76], изображениях в единицах шкалы серого цвета [45] и ортогональных отношениях [53].

Методы, основанные на фактическом изображении, как правило, не требуют калибровки камер и геометри-

ческих данных, т. к. преобразование выполняется непосредственно по содержанию изображения.

4. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во введении описаны различные методы айтрекинга, представлен обзор бесконтактного видеослежения за взглядом – гейзтрекинга. Основной целью работы было проведение обзора развития бесконтактных методов айтрекинга и их возможных использований в дизайне.

Проблема состоит в том, что метод айтрекинга до сих пор не стандартизован, хотя история айгейзтрекинга связана со столетним периодом исследований. Будущее развитие айтрекинга нуждается в стандартизации метрологических параметров, которые используются в качестве метрики движения глаз, а также способа представления этих данных и метода их интерпретации для проектирования интерфейса человек-компьютер. Например, не существует стандарта на минимальную продолжительность фиксации взгляда. Воздействие оборудования на человеческий организм должна снижаться, чтобы обеспечить пользователям более комфортное применение. Требуется увеличивать производительность и точность сбора данных. Кроме того, системы айтрекинга должны стать дешевле, чтобы сделать их доступными для использования инструментом как для малых дизайнерских фирм, так и для крупных исследовательских лабораторий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фазыльзьянова Г.И. Понимание художественного текста как культурологический феномен. СПб.: Астерион, 2008. 272 с.
2. Огнев А.С., Венерина О.Г., Виноградова И.А. Новые психодиагностические возможности трекинга глаз // Вестник Московского государственного гуманитарного университета им. М.А. Шолохова. Педагогика и психология. 2012. № 3. С. 107-112.
3. Picot A., Charbonnier S., Caplier A. Drowsiness detection based on visual signs: blinking analysis based on high frame rate video // IEEE Intl. Instrumentation and Measurement Technology Conference. Austin, USA. 2010.
4. Xu G., Zhang Z., Ma Y. Improving the performance of iris recognition system using eyelids and eyelashes detection and iris image enhancement // IEEE Intl. Conf. on Cognitive Informatics (ICCI). 2006. P. 871-876.
5. Majaranta P., Raiha K.-J. Twenty Years of Eye Typing: Systems and Design Issues // Eye Tracking Research & Applications (ETRA) Symposium. N. Y., 2002. P. 15-22.
6. Riquier F., Herbelin B., Grillon H., Thalmann D. Use of virtual reality as therapeutic tool for behavioral exposure in the ambit of social anxiety disorder treatment // Intl. Conf. Series on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies. Esbjerg, 2006. P. 105-112.
7. Greene H.H., Rayner K. Eye Movements and Familiarity Effects in Visual Search // Vision Research. 2001. V. 41 (27). P. 3763-3773.
8. Rayner K., Rotello C.M., Stewart A.J., Keir J., Duffy S.A. Integrating Text and Pictorial Information: Eye Movements When Looking at Print Advertisements // Journal of Experimental Psychology: Applied. 2001. V. 7 (3). P. 219-226.
9. Snodderly D.M., Kagan I., Gur M. Selective Activation of Visual Cortex Neurons by Fixational Eye Movements: Implications for Neural Coding // Visual Neuroscience. 2001. V. 18 (2). P. 259-277.
10. Rayner K. Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research // Psychological Bulletin. 1998. V. 124 (3). P. 372-422.
11. Goldberg J., Stimson M., Lewenstein M., Scott N., Wichansky A. Eye Tracking in Web Search Tasks: Design Implications // Eye Tracking Research & Applications (ETRA) Symposium. New Orleans, LA, 2002.
12. Jacob R.J. What You Look at is What You Get: Eye Movement-Based Interaction Techniques // Human Factors in Computing Systems: CHI'90 Conference Proceedings. N. Y.: ACM Press, 1990. P. 11-18.
13. Duchowsky A. Eye Tracking Methodology: Theory and Practice. 2nd ed. Berlin, 2007.
14. Morimoto C., Mimica M. Eye gaze tracking techniques for interactive applications // Computer Vision and Image Understanding. 2005. V. 98 (1). P. 4-24.
15. COGAIN: D2.1 Survey of De-Facto Standards in Eye Tracking / European Commission within the Sixth Framework Program. 2005. URL: wiki.cogain.org/images/1/1b/COGAIN-D2.1.pdf (accessed: 10.12.2013).
16. Mazo L., Barea M., Boquete R., Lopez E. System for assisted mobility using eye movements based on electrooculography // IEEE Trans. on Neural Sys. and Rehab. Eng. 2002. V. 10 (4). P. 209-218.
17. MONEOG. Metro Vision Systems. URL: <http://www.metrovision.fr> (accessed: 10.12.2013).
18. Eagle Eyes. Opportunity Foundation of America. URL: <http://www.bc.edu/eagleeyes> (accessed: 10.12.2013).
19. Chronos Vision. URL: <http://www.chronos-vision.de> (accessed: 10.12.2013).
20. Skalar Medical. URL: <http://www.nzbri.org/research/labs/eyelab/> (accessed: 10.12.2013).
21. JAZZ-novo. URL: <http://www.ober-consulting.com> (accessed: 10.12.2013).
22. Saccadometer. URL: <http://www.ober-consulting.com> (accessed: 10.12.2013).
23. Intelligaze IG-30. URL: <http://www.alea-technologies.com> (accessed: 10.12.2013).
24. EyeMax System. URL: <http://www.dynavoxtech.com> (accessed: 10.12.2013).
25. EyeTech Digital Systems. URL: <http://www.eyetechds.com> (accessed: 10.12.2013).
26. SeeTech. URL: <http://www.see-tech.de> (accessed: 10.12.2013).
27. Huchuan Lu, Shipeng Lu, Gang Yang. Robust Eye Tracking in Video Sequence // J. of Circuits, Systems, and Computers. 2012. V. 21 (1).
28. Böhme M., Meyer A., Martinet T., Barth E. Remote eye tracking: State of the art and directions for future development // The 2-nd Conference on Communication by Gaze Interaction (COGAIN 2006). Turin, 2006. P. 10-15.
29. Černý M. Gaze Tracking Systems for Human-Computer Interface Perner's Contacts. 2011. V. 6 (5). P. 43-50.
30. 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. V. 32 (3). P. 478-500.
31. Orman Z., Battal A., Kemer E. A Study on Face, Eye Detection and Gaze Estimation // Intl. Journal of Computer Science and Engineering Survey. 2011. V. 2 (3). P. 29-46.
32. Mohamed A.O., Pereira Da Silva M., Courboulav V. A history of eye gaze tracking: Technical Report: hal-00215967. Version 1-24. 2008.
33. Merchant J., Morrisette R., Porterfield J.L. Remote measurement of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 1974. V. 21 (4). P. 309-317.
34. LC. URL: <http://www.eyegaze.com> (accessed: 10.12.2013).
35. Sugano Y., Matsushita Y., Sato Y., Koike H. An Incremental Learning Method for Unconstrained Gaze Estimation. ECCV: 2008. P. 656-667.
36. Ohno T., Mukawa N., Yoshikawa A. Freegaze: A Gaze Tracking System for Everyday Gaze Interaction // Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. Proc. 2002. P. 125-132.
37. Matsumoto Y., Ogasawara T., Zelinsky A. Behavior recognition based on head pose and gaze direction measurement // Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000). 2000. V. 3. P. 2127-2132.
38. Wang J.G., Sung E. Study on eye gaze estimation // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 2002. P. B 32 (3). P. 332-350.
39. Nitschke Ch., Nakazawa A., Takemura H. Display-camera calibration using eye reflections and geometry constraints // Computer Vision and Image Understanding. 2011. P. 835-853.
40. Smith P., Shah M., Lobo N. da V. Monitoring Head/Eye Motion for Driver Alertness with One Camera // IEEE International Conference on Pattern Recognition. 2000. P. 4636-4635.
41. Yamazoe H., Utsum A., Yonezawa T., Abe S. Remote Gaze Estimation with a Single Camera Based on Facial-Feature Tracking without Special Calibration Actions // Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium (ETRA 2008). Savannah, Georgia, 2008.
42. Wang J.-G., Sung E., Venkateswarlu R. Eye gaze estimation from a single image of one eye // Proceedings of the 9th IEEE Intl. Conf. on Computer Vision (ICCV'03). Nice, 2003. V. 1. P. 136-143.
43. Jian-nan C., Chuang Z., Yan-jun Q., Ying L., Li Y. Pupil tracking method based on particle filtering in gaze tracking system // International Journal of the Physical Sciences. 2011. V. 6 (5). P. 1233-1243.
44. Sesma L., Villanueva A., Cabeza R. Evaluation of Pupil Center-Eye Corner Vector for Gaze Estimation Using a Web Cam // Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. N. Y., 2012. P. 217-220.
45. Yang X.-H., Sun J.-D., Liu J., Li X.-C., Yang C.-X., Liu W. A Remote Gaze Tracking System Using Gray-Distribution-Based Video Processing // Journal of Biomedical Engg: Applns., Basis & Communications. 2012. V. 24 (3). P. 217-227.

46. Tobii. URL: <http://www.tobii.se> (accessed: 10.12.2013).
47. Guestrin E.D., Eizenman M. General Theory of Remote Gaze Estimation Using the Pupil Center and Corneal Reflections // IEEE Trans. Biomedical Eng. 2006. V. 53. № 6. P. 1124-1133.
48. Hennessey C., Nouredin B., Lawrence P. A Single Camera Eye-Gaze Tracking System with Free Head Motion // Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. 2006. P. 87-94.
49. Meyer A., Bohme M., Martinetz T., Barth E. A Single-Camera Remote Eye Tracker // Perception and Interactive Technologies. 2006. P. 208-211.
50. Ohno T. One-Point Calibration Gaze Tracking Method // Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. 2006. P. 34-34.
51. Morimoto C.H., Amir A., Flickner M. Detecting eye position and gaze from a single camera and 2 light sources // Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition. 2002.
52. Tomono A., Iida M., Kobayashi Y. A TB Camera System which Extracts Feature Points for Non-Contact Eye Movement Detection // Proc. SPIE Optics, Illumination, and Image Sensing for Machine Vision. 1989. P. 2-12.
53. Coutinho F.L., Morimoto C.H. Improving Head Movement Tolerance of Cross-Ratio Based Eye Trackers // International Journal of Computer Vision. 2013. V. 101 (3). P. 459-481.
54. Hansen D.W., Agustin J.S., Villanueva A. Homography Normalization for Robust Gaze Estimation in Uncalibrated setups // Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. 2010. P. 13-20.
55. Yang X., Sun J., Liu J., Chu J., Liu W., Gao Y. A gaze tracking scheme for eye-based intelligent control // Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation. Jinan, China, 2010.
56. Zhu Z., Ji Q., Bennett K.P. Nonlinear eye gaze mapping function estimation via support vector regression // Proceedings of the 18-th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2006). 2006. V. 1. P. 1132-1135.
57. Beymer D., Flickner M. Eye gaze tracking using an active stereo head // Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2003. V. 2. P. 451-458.
58. Broily X.L.C., Mulligan J.B. Implicit calibration of a remote gaze tracker // Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW '04). 2004. V. 8. P. 134.
59. Ohno T., Mukawa N. A free-head, simple calibration, gaze tracking system that enables gazebased interaction // Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. 2004. P. 115-122.
60. Shih S.W., Liu J. A novel approach to 3-rd gaze tracking using stereo cameras // IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics. 2004. P. B 34 (1). P. 234-245.
61. Zhang K., Zhao X., Ma Z., Man Y. A simplified 3D gaze tracking technology with stereo vision // International Conference on Optoelectronics and Image Processing. 2010. P. 131-134.
62. Yoo D.H., Chung M.J. A Novel Non-Intrusive Eye Gaze Estimation Using Cross-Ratio under Large Head Motion // Computer Vision and Image Understanding. 2005. V. 98 (1). P. 25-51.
63. Hung R.M., Yin L. Pointing with the eyes: Gaze estimation using a static/active camera system and 3D iris disk model // IEEE Intl. Conf. on Multimedia and Expo. 2010. P. 280-285.
64. Iannizzotto L., La Rosa F. Competitive combination of Multiple Eye detection and Tracking Techniques // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2011. V. 58 (8). P. 3151-3159.
65. Model D., Eizenman M. User-calibration-free remote gaze estimation system // Proceedings of symposium on eye tracking research & applications. N. Y., 2010. P. 29-36.
66. Nagamatsu T., Sugano R., Iwamoto Y., Kamahara J., Tanaka N. User-calibration-free gaze tracking with estimation of the horizontal angles between the visual and the optical axes of both eyes // Proc. of the symposium on eye-tracking research & applns. N. Y., 2010. P. 251-254.
67. Sigut J., Sidha S. Iris Center Corneal Reflection Method for Gaze Tracking Using Visible Light // IEEE Trans. On Biomedical Engineering. 2011. V. 58 (2). P. 411-419.
68. Taba I. Improving Eye-Gaze Tracking Accuracy through Personalized Calibration of a User's Aspherical Corneal Model: MS Thesis. University of British Columbia, 2012.
69. Cerrolaza J.J., Villanueva A., Caveza R. Study of polynomial mapping functions in videooculography eye trackers // ACM Transaction Computer-Human Interaction. 2012. V. 19. № 10. P. 25.
70. Baluja S., Pomerleau D. Non-intrusive gaze tracking using artificial neural networks // Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems. 1994. V. 6. P. 753-760.
71. Demjen E., Abosi V., Tomori Z. Eye Tracking Using Artificial Neural Networks for Human Computer Interaction // Physiological Research. 2011. Sept. 1.
72. Torricelli D., Conforto S., Schmid M., D'Alessio T. A neural-based remote eye gaze tracker under natural head motion // Comput. Methods Programs Biomed. 2008. V. 92. P. 66-78.
73. Orozco J., Roca F.X., Gonzalez J. Real time gaze tracking with appearance based models // Machine Vision and Applications. 2009. V. 20 (6). P. 353-364.
74. Lu F., Sugano Y., Takahiro O., Sato Y. A head pose-free approach for appearance-based gaze estimation // Proceedings of the 22-nd British Machine Vision Conference. Tokyo, 2011. P. 1008-1011.
75. Sheela S.V., Vijaya P.A. Mapping Functions in Gaze Tracking // International Journal of Computer Applications. 2011. V. 26 (3). P. 36-42.
76. Rikert T.D., Jones M.J. Gaze estimation using morphable models // IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. 1998. P. 436-441.

Поступила в редакцию 15 января 2014 г.

Fazylzyanova G.I., Balalov V.V. EYETRACKING: COGNITIVE TECHNOLOGIES IN VISUAL CULTURE

Metrological provision for obtaining objective data on the nature of visual interaction of the consumer with products based on the application of design methods for eye tracking movements and gaze direction are considered. The purpose of this article is to give an overview of recent trials of methods for assessing the quality eye tracking graphics and multimedia products. In the application of systems eye tracking visual search, marketing and advertising, neuroscience, psychology and human-computer interface is considered. Methods for detecting the position and eye movements are discussed such as electrooculography, scleral search coils, infrared oculography and videooculography. Emphasis is placed on methods for assessing the view based on image interpretation and analysis of the data obtained. Ratings look at facial features and characteristics of the image are two groups of experimental methods. Method of optical response of the eye and tracks is based directly on the photometric effects. Eyetracking future development needs standardization of metrological parameters that are used as a metric eye movement, as well as ways of presenting the data and their interpretation method for designing human-computer interface. The basic terms and definitions are given, recent advances and finally the need for future development are represented in this area.

Key words: visual culture; design; eyetracking; geiztracking; oculography; eyetracker.

Фазылзянова Гузалия Ильгизовна, Московский государственный гуманитарный университет им. М.А. Шолохова, г. Москва, Российская Федерация, доктор культурологии, профессор, декан факультета дизайна и визуальных искусств, e-mail: fgi1971@gmail.com

Fazylzyanova Guzaliya Ilgizovna, Sholokhov Moscow State University for Humanities, Moscow, Russian Federation, Doctor of Cultural Studies, Professor, Dean of Design and Visual Arts Faculty, e-mail: fgi1971@gmail.com

Балалов Виталий Викторович, Московский государственный гуманитарный университет им. М.А. Шолохова, г. Москва, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой дизайна, e-mail: vbabalov@mail.ru

Babalov Vitaliy Viktorovich, Sholokhov Moscow State University for Humanities, Moscow, Russian Federation, Candidate of Technichs, Associate Professor, Head of Design Department, e-mail: vbabalov@mail.ru