
МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ЗНАЧИМЫХ ДАННЫХ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ИЗОХРОМНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ

Наталья Белоус, Виктор Борисенко, Виктор Левыкин,
Дмитрий Макивский, Анна Зайцева

Аннотация: Глаукома – это болезнь глаза, причиной которой является повышение внутриглазного давления. Если глазное давление при глаукоме вовремя не снизить до нормы, может погибнуть зрительный нерв, что приведет к необратимой слепоте. На сегодняшний день предложен принципиально новый способ измерения внутриглазного давления, базирующийся на обследовании роговицы глаза человека в поляризованном свете, что позволяет видеть на ней специфическую интерференционную картину. В работе авторами предлагается метод, позволяющий провести распознавание изображения глаза человека, отснятого в поляризованном свете, и выделить на исходном изображении данные, необходимые для разработки системы бесконтактного измерения внутриглазного давления. Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день не существует аналогов реализации данного метода. Программная реализация метода позволит разработать программно-аппаратный комплекс, на порядок превосходящий существующие аналоги по стоимости и простоте исполнения, а также бесконтактно, быстро и точно измерять внутриглазное давление.

Ключевые слова: Внутриглазное давление, глаукома, диагностика, распознавание изображения, обработка изображения, изохрома, изоклина.

ACM Classification Keywords: I.5 Pattern Recognition, I.5.2 Design Methodology - Feature evaluation and selection.

Conference: The paper is selected from International Conference "Classification, Forecasting, Data Mining" CFDM 2009, Varna, Bulgaria, June-July 2009

Введение

Сегодня при неизменных темпах роста науки и техники общество не может обходиться без компьютерной техники. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, нагрузка на глаза человека выросла в 100 раз в 2000 году по сравнению с 1900 годом. В будущем эта цифра будет только увеличиваться. Так как почти все время деятельности человека будет связано с ЭВМ, а это означает постоянное напряжение мышц глаз, что в 95 процентах будет приводить к нарушению внутреннего давления глаз. Следовательно, можно констатировать, что болезни, связанные с заболеваниями глаз, становятся критической проблемой современной медицины.

Каждая клетка живого организма имеет определенный тонус, т.е. некоторый уровень внутреннего давления. Являясь следствием биохимических процессов, внутренний тонус обуславливает форму каждого живого элемента и в конечной степени его функцию [http://mv_vizion.ru, 2008].

Внутриглазная жидкость выполняет важные функции по обеспечению глаза питательными веществами и формирует внутриглазное давление. Внутриглазное давление выполняет следующие физиологические функции: расправляет все внутриглазные оболочки, создает в них тургор, придает правильную сферическую форму главному яблоку, что необходимо для функционирования оптической системы глаза. При нарушении работы механизмов притока и оттока внутриглазной жидкости возникают заболевания глаза, связанные с внутриглазным давлением. Наиболее опасной болезнью, связанной с нарушением оттока внутриглазной жидкости, является глаукома кисти, является глаукома [<http://www.glaukoma.info/#anatomy>, 2008].

Глаукома – это болезнь глаза, причиной которой является повышение внутриглазного давления. Если глазное давление при глаукоме вовремя не снизить до нормы, может погибнуть зрительный нерв, что приведет к необратимой слепоте. При глаукоме страдает зрительная функция глаза. В начале человек просто начинает хуже видеть, затем нарушается периферическое зрение, ограничивается зона видимости и в итоге может наступить слепота. Причем изменения эти необратимы, поэтому так важно, вовремя начать лечение глаукомы (рис.1).

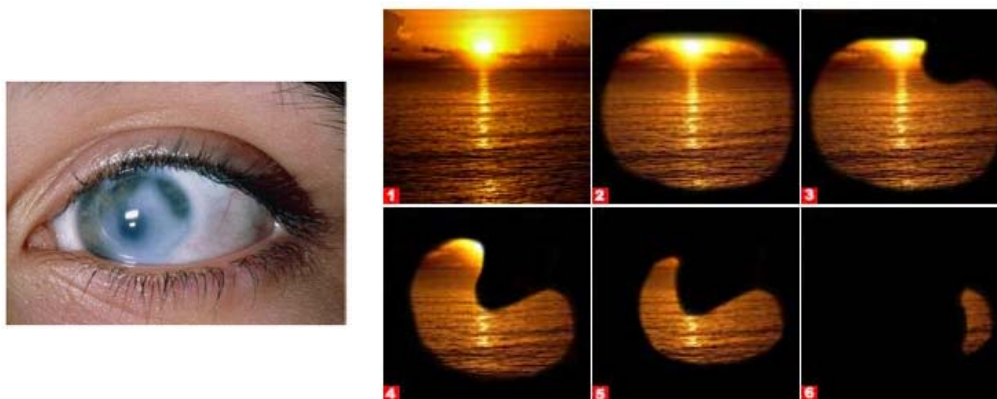


Рисунок 1 – Потеря зоны видимости при глаукоме

На данное время для лечения этой болезни разработано большое количество медикаментозных препаратов, различных физиологических методик снижения внутриглазного давления и комплексов упражнений для глаз, которые помогают полностью остановить прогресс болезни, однако диагностика данного заболевания не имеет оптимального решения. Методы диагностики повышения внутриглазного давления, разработанные и используемые на сегодняшний день, имеют различные недостатки, такие как сложность проведения процедуры, большие затраты времени на проведение процедуры, дороговизна оборудования, неточность измерения, невозможность автоматизации вследствие особенностей процесса измерения и прочее [<http://www.glaukoma.info/#anatomy>, 2008].

Новый медицинский подход к измерению внутриглазного давления

В современной медицине разработан и запатентован [Кочин О.В., 2008] принципиально новый способ измерения внутриглазного давления. Обследование роговицы в поляризованном свете позволяет увидеть на ней специфическую интерференционную картину. Данная картина представляет собой фигуру подобную ромбу. Эта интерференционная картина формируется цветными коллинеарными контурами, называемыми изохромами. Цвет изохромного рисунка зависит от цвета радужки человека, на фоне которой наблюдается интерференционное изображение. Также на рисунке можно выделить элемент в виде мальтийского креста, который положен на вертикальную и горизонтальную диагональ изохромного ромба, он имеет название изоклина. Для диагностики внутреннего давления глаза необходимо измерять параметры изохромной фигуры. Приведенный подход имеет ряд преимуществ, по сравнению с другими подходами, к измерению внутриглазного давления:

- высокая точность измерений;
- высокая скорость процесса получения данных, необходимых для диагностики внутриглазного давления;
- является бесконтактным, а значит и безболезненным для пациента и не требующим применения дополнительных медицинских препаратов;
- применим для людей, измерение внутриглазного давления у которых стандартными методами затруднено, например, у младенцев при диагностике врожденной глаукомы;

- возможность применения ЭВМ для автоматизации процесса;
- более дешевая реализация автоматического оборудования по данному подходу, по сравнению с другими подходами к измерению внутриглазного давления;
- простота использования диагностического оборудования, которое может быть построено на основе данного способа [Кочин О.В., 2008, Кочина М.Л., 2008].

Для автоматизации описанного выше подхода к измерению внутриглазного давления актуально разработать метод для распознавания и выделения диагностических данных на исходных изображениях. Исходными изображениями для данного подхода являются снимки глаза человека, получаемые в поляризованном свете.

Разработка метода и программного обеспечения, предназначенного автоматизировать подход измерения внутриглазного давления по изображениям изохромных линий, производится впервые и не имеет аналогов в мире. Разработка методов распознавания изображений для решения данной проблемы также ранее не производилась.

Выделение рабочей области на изображении глаза человека

Изображение глаза человека в поляризованном свете несет большое количество помех, преимущественно точечного вида. Контуры элементов изображения, вследствие особенностей съемки, слегка размыты. Информация, которую необходимо снять с изображения для измерения внутриглазного давления, заключена не в частных значениях яркости изображения, а в положении контура изохромы первого порядка. Таким образом, к исходным изображениям целесообразно применить медианный фильтр для очистки изображения от помех. Данный прием сгладит экстремумы яркости, возникшие в результате помех при съемке, и не приведет к потере информативности изображения.

Поскольку на изображении глаза в поляризованном свете может присутствовать до трех изохром, приступить к поиску столь специфического элемента не представляется возможным каким-либо из разработанных, на текущий момент, методом или алгоритмом. Поэтому в первую очередь необходимо ограничить зону поиска. В данной предметной области изохрома первого порядка располагается в пределах радужки глаза человека, а границами выступают контур зрачка и контур роговицы. Поэтому для измерения внутриглазного давления в первую очередь необходимо выделить зону радужки глаза на изображении.

В первую очередь необходимо выделить на изображении контур зрачка, поскольку данный элемент является наиболее легкоузнаваемым и крупным элементом изображения, а область зрачка характеризуется наименьшей яркостью на изображении. Выделив границу зрачка, найдем минимальную границу кольцеобразной области радужки глаза человека, в пределах которой необходимо производить поиск изохромы первого порядка.

Для нахождения зрачка учтем следующие особенности изображения глаза отснятого фотокамерой в монохромном цвете:

- наиболее темная область на изображении глаза – область зрачка;
- зрачок имеет эллипсоидную форму на изображении, приближенную к кругу. Отклонение от круглой формы обусловлено тем, что кривизна роговицы больше кривизны глазного яблока, а это приводит к небольшим погрешностям при съемке, если направление взгляда человека в момент съемки не направлено точно в объектив камеры;
- необходимо учитывать, что ресницы, попавшие на изображение при съемке, приведут к появлению помех, данные помехи по контрастному тону сопоставимы с изображением зрачка.

Для решения задачи поиска зрачка в первую очередь необходимо очистить изображение от помех, созданных ресницами и веками глаз. Ресницы располагаются по контуру изображения глаза. Для

устранения данных помех авторами разработана радиальная фильтрация. Идея радиальной фильтрации заключается в повышении яркости пикселя на относительную величину расстояния от центра изображения до этого пикселя. Преобразование будем проводить в полярной системе координат. Данную операцию можно представить по формулам (1-4):

$$l = \sqrt{\left(\frac{N}{2} - n\right)^2 + \left(\frac{M}{2} - m\right)^2} - r_0, n = 1..N, m = 1..M, \quad (1)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0, npi & l \leq 0 \\ l, npi & l > 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta f_{m,n} = f_{m,n}^0 + \alpha, \quad (3)$$

$$f_{m,n}^1 = \begin{cases} \Delta f_{m,n}, npi & 0 < \Delta f_{m,n} \leq \max f \\ \max f, npi & \Delta f_{m,n} > \max f \end{cases}, \quad (4)$$

где l – расстояние от изображения до пикселя;

n, m – текущие координаты пикселя на изображении;

N – ширина изображения;

M – высота изображения.

α – величина корректировки значения яркости пикселя;

$f_{m,n}^0$ – первоначальное значение яркости пикселя;

$\Delta f_{m,n}$ – значение яркости пикселя после преобразования до введения ограничивающего порога $\max f$;

$\max f$ – максимальное значение яркости для заданной системы;

$f_{m,n}^1$ – выходное значение яркости пикселя, полученное после преобразования;

После проведенной радиальной фильтрации все наиболее темные точки на изображении будут располагаться внутри области зрачка. Для проведения дальнейшего процесса поиска изохромы первого порядка на изображении выбирается несколько точек с минимальной яркостью. Для каждой из этих точек строится прямоугольный треугольник, так, чтобы точка минимальной яркости принадлежала катету треугольника (рис.2а). Гипотенуза треугольника будет являться диаметром круга, в который вписан треугольник, а, следовательно, диаметром зрачка. Для каждой точки минимальной яркости построим четыре прямоугольных треугольника, проведя через точку две перпендикулярные друг другу хорды. Поскольку границы зрачка на исследуемом изображении слегка размыты, то поиск производится по нескольким точкам. Полученные результаты, по координатам центров, разобьем на кластеры методом К-средних, задав радиус кластера размером в одну условную единицу (пиксель). По результатам кластеризации выбирается центр зрачка как центр самого многочисленного кластера. Радиус зрачка r_{\min} определяется как среднее значение радиуса по всем объектам кластера. Таким образом, выделили минимальную границу кольцеобразной зоны радужки, в пределах которой проводится поиск изохромы.

Для поиска максимальной границы кольцеобразной области радужки глаза человека, в пределах которой необходимо проводить поиск изохромы первого порядка, возвратимся к исходному изображению и проведем обработку изображения градиентным методом. Авторами был модифицирован градиентный метод, путем задания направления градиации от центра зрачка к границам изображения. Данное направление градирования обусловлено радиальной формой основных элементов изображения роговицы. Результаты градирования приведены на рисунке 2б.

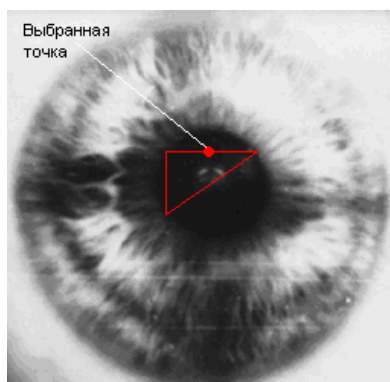


Рисунок 2а) исходное изображение с точкой минимума и треугольником, вписанным в контур зрачка

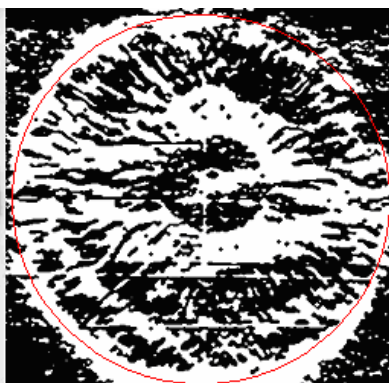


Рисунок 2б) изображение глаза после проведения операции градирования, и нахождения контура с максимальной энергии

Искомый элемент представляет собой кругообразный контур на градированном изображении с центром в точке приближенной к точке центра зрачка и максимальным радиусом, среди подобных кругообразных структур. Поиск производится по формулам (5-6).

$$Q_{x,y,r} = \sum f_{x,y,\Delta r}, \quad \Delta r = r_{\min} \dots \frac{M}{2}, \quad (5)$$

$$Q_{\max} = \max Q_{x,y,\Delta r}, \quad (6)$$

где $f_{x,y,r}$ – значение яркости пикселя, лежащего на конуре круга с центром в координатах x, y и радиусом r ;

$Q_{x,y,r}$ – энергия контура круга с центром в координатах x, y и радиусом r ;

Среди всех контуров с энергией $Q_{x,y,r}$, найденных по формуле (6), выбирается контур с максимальной энергией $\max Q_{x,y,r}$. Данный контур является контуром роговицы. Радиус контура с энергией $\max Q_{x,y,r}$ будет являться радиусом (r_{\max}) круга, ограничивающего максимальную границу кольцеобразной области радужки глаза человека.

Таким образом, были определены центр и радиусы контуров зрачка и роговицы глаза человека (рис. 3). Эти данные позволяют существенно ограничить область поиска и приступить к распознаванию изоклинной и изохромной линий глаза человека.

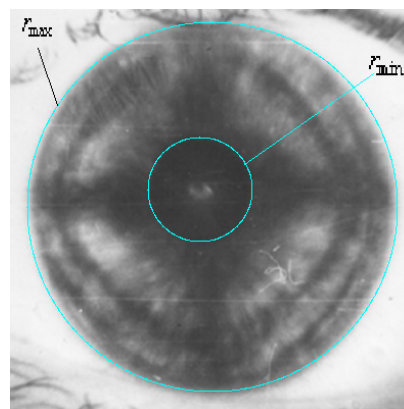


Рисунок 3 - изображение с выделенной областью, в пределах которой производится поиск изохромы первого порядка

Выделение положения изоклины и контура изохромы

Изохрома первого порядка на изображении глаз человека имеет ромбообразную форму, а изоклина представляет собой пересечение диагоналей ромба изоклины. Выделив на изображении крайние точки, в пределах радужки, ветвей изоклины получим точки, углов изохромного ромба. Для поиска координат ветвей изоклины построим диаграмму распространения области яркости, по уровню энергии сопоставимой с яркостью зоны окружающей зрачок. Диаграмма яркости строится по формулам (7-10).

$$P_{x+1,y}^1 = P(x+1, \Delta y), \quad \text{при } f(x+1, \Delta y) - f_T(x, y) > \theta, \quad \Delta y = y..n, \quad (7)$$

$$P_{x+1,y}^0 = P(x+1, \Delta y), \quad \text{при } f(x+1, \Delta y) - f_T(x, y) > \theta, \quad \Delta y = 1..y, \quad (8)$$

$$P_{x+1,y}^{T+1} = (P_{x+1,y}^1 - P_{x+1,y}^0) / 2, \quad (9)$$

где $P_{x+1,y}^1$ – первая точка повышения яркости на заданную величину θ при Δy изменяющемся от y до n ;

$P_{x+1,y}^0$ – первая точка повышения яркости на заданную величину θ при Δy изменяющемся от 1 до y ;

x, y – координаты точки P ;

$P(x+1, \Delta y)$ – точка перехода яркости;

$f(x+1, \Delta y)$ – величина яркости точки $P(x+1, \Delta y)$;

$f_T(x, y)$ – величина яркости точки $P_{x,y}^T$;

$P_{x,y}^T$ – точка срединного значения диаграммы, на предыдущем шаге;

$P_{x+1,y}^{T+1}$ – точка срединного значения диаграммы, на текущем шаге.

Таким образом, продвигаясь от зрачка к контуру роговицы по направлению распространения ветви изоклины, будем строить на каждом этапе окно с размерами $1 \times n$, и выбирать точку $n/2$. Размер окна n определяется пределами распространения области яркости изоклины на векторе перпендикулярном направлению распространения ветви изоклины. Начальной выбирается точка, лежащая на контуре зрачка.

На заключительном этапе распознавания предлагается установить положение изохром, по найденным ранее точкам углов изохромного ромба и провести подстройку точек, т.н. методом «активного контура» [Сойфер В.А., 2003]. Для применения метода активного контура необходимо задать приблизительное положение точек изохром и направление поиска. Зная начальное положение стороны ромба изохром, зададим направление работы для метода активный контур от границы зрачка к границе роговицы глаза как показано на рисунке 4. Для повышения точности и скорости выделения изохром зададим яркость искомой изохром, как величину среднеквадратичного отклонения яркости для всех точек, найденных в процессе выделения изоклины.

Найденные таким образом точки будут находиться на границе контура изоклины первого порядка. Полученные точки, а также точки окончания ветвей изоклины, будут представлять собой изохром первого порядка глаза человека, снятого в поляризованной свете.

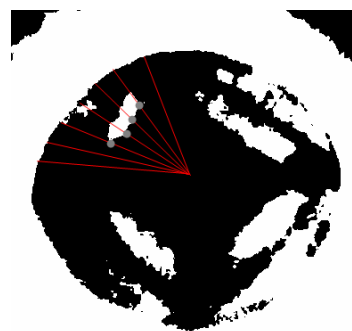


Рисунок 4 – Препарирование изображения и поиск точек изохром

Заключение

Результаты исследования данной работы, а именно разработанный метод, были использованы при разработке экспериментального образца программного обеспечения, позволяющего проводить измерение внутриглазного давления. Исходным материалом для разработанного программного обеспечения являются изображения глаза человека в поляризованном свете. При помощи экспериментального

образца программного обеспечения было проведено тестирование разработанного метода выделения значимых данных на изображении глаза человека в поляризованном свете. Тестирование экспериментального образца программного обеспечения на снимках глаза человека показало высокую эффективность разработанного метода. Данный метод позволяет точно определить положение точек контура изохромы первого порядка на 96.6% исходных изображений. Для оставшихся 3.4% диагностических случаев понадобилось провести повторную съемку глаза человека. По результатам тестирования экспериментального образца программного обеспечения можно сделать выводы, что разработанный метод позволяет быстро и эффективно решать задачу поиска изохромных линий на изображении глаза человека, освещенного поляризованным светом и в будущем построить систему бесконтактной диагностики внутриглазного давления.

Библиография

[http://mv_vizion.ru, 2008] Офтальмология. Внутриглазное давление [Электронный ресурс] / Информация о болезни глаз. – Режим доступа: [www/ URL: \[http://mv_vizion.ru/bolezni_glaz_vnutriglaznoe.htm/\]\(http://mv_vizion.ru/bolezni_glaz_vnutriglaznoe.htm/\)](http://mv_vizion.ru/bolezni_glaz_vnutriglaznoe.htm/) - 10.09.2008 г. - Загл. с экрана.

[<http://www.glaukoma.info/#anatomy>, 2008] Глаукома. Анатомия и физиология путей оттока внутриглазной жидкости [Электронный ресурс] / Информация для пациентов о глаукоме. – Режим доступа: [www/ URL: <http://www.glaukoma.info/#anatomy>](http://www.glaukoma.info/#anatomy) – 15.09.2008г. - Загл. с экрана.

[Кочина М.Л., 2008] Кочина М.Л. Бесконтактные методы диагностики патологии глаза с использованием излучения оптического диапазона //18-th International Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”, September 8-12, 2008, p. 58-59..

[Кочин О.В., 2008] Патент на корисну модель «Спосіб виміру внутрішньо очного тиску», Кочина М.Л., Кочин О.В., 33640 Україна, МПК (2006), А 61В3/16, А 61В8/10. Заявл.23.10.2007.Опубл.10.07.2008.

[Сойфер В.А., 2003] Методы компьютерной обработки изображения. [Текст]: учеб./ Гашников В.М., Глумов Н.И., Попов С.Б., Чернов В.М., Сойфер В.А., - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.

Информация об авторах

Белоус Наталия – заведующий лабораторией «Информационные технологии в системах обучения и машинного зрения», к.т.н., профессор каф. ПО ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники. Харьков. Украина. e-mail: belous@kture.kharkov.ua

Левыкин Виктор – д.т.н., профессор Харьковского национального университета радиоэлектроники, зав. каф. ИУС. Харьков. Украина. e-mail: levykin@kture.kharkov.ua

Борисенко Виктор Петрович – к.т.н. доцент каф. ИУС. Харьковского национального университета радиоэлектроники. Харьков. Украина.

Макивский Дмитрий – магистр кафедры ПО ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники. Харьков. Украина. e-mail: mak.spectrum@gmail.com

Зайцева Анна – магистр кафедры ИУС Харьковского национального университета радиоэлектроники. Харьков. Украина.