

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ НЕЗРЯЧИХ

---

*КАДЫМОВ Вагид Ахмедович - доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры математики МГТЭУ ([vkadymov@yandex.ru](mailto:vkadymov@yandex.ru))*

*КИРСАНОВ Михаил Николаевич - доктор физико-математических наук,  
профессор Национального исследовательского университета  
«МЭИ» ([c216@ya.ru](mailto:c216@ya.ru))*

### MATHEMATICAL MODEL AND SCHEME OF TACTILE VISION

*KADYMOV, Vagid - Dr. of Sci, prof. of Dpt. Of Mathematics, Moscow State  
University of Humanities and Economics ([vkadymov@yandex.ru](mailto:vkadymov@yandex.ru))*

*KIRSANOV, Mikhail - Dr. of Sci, Professor of National Research University  
"MPEI" (e-mail: [c216@ya.ru](mailto:c216@ya.ru))*

---

**Аннотация.** Предлагается система искусственного зрения для незрячих, основанная на математическом моделировании упрощения изображения без потери основного объема полезной информации. В проектируемую систему входит видеочамера, получающая изображение, процессор с математическим обеспечением, упрощающим образ, и механический монитор с матрицей ограниченного размера из актуаторов для передачи бинарной информации. В процессор системы заложен алгоритм выделения контура порогового типа. Описана математическая основа метода выделения контура, не использующего матричные алгоритмы обработки изображения.

**Ключевые слова:** искусственное зрение, Maple, контур изображения, Брайль

**Summary.** Provides a system of artificial vision for the blind, based on mathematical modeling simplify the image without losing the basic amount of useful information. The designed system includes a video camera, receiving the image, processor, software maintenance, simplifying the image, and a mechanical monitor with a matrix of limited size of the actuators for the transmission of binary information. The processor system is the allocation algorithm of the circuit of the threshold type. Described the mathematical basis of the selection circuit that does not use matrix methods to image processing.

**Keywords:** artificial vision, Maple, the outline of the image, Braille

---

### Введение. Постановка задачи

Проблемой полного или хотя бы частичного восстановления зрения занимаются во всем мире. В последнее время появились новые направления в этих исследованиях.

### 1. Бионической зрение BVA

В 1997 австралийскими профессорами Nigel Lovell и Gregg Suaning (UNSW Sydney, Graduate School of Biomedical Engineering) была поставлена задача создания электронного устройства, в какой-то мере моделирующего глаз [1,2]. К настоящему времени в созданном ими консорциум Bionic Vision Australia (BVA) с привлечением финансирования Австралийского исследовательского совета созданы первые прототипы устройства (рис. 1). BVA добился того, что в 2012 году исследовательская группа изготовила первый частично имплантированный прототип для трех пациентов с пигментозом ретинита из 24 электродной решетки (рис. 2) с *внешней* электроникой. Это позволило пользователям видеть пятна света, называемые фосфенами, а со специальными камерами и алгоритмами они смогли получить ощущение расстояния до объектов. В 2015 году была завершена полностью имплантируемая система бионического глаза UNSW Phoenix99. Система бионического зрения состоит из камеры, прикрепленной к паре очков, которая передает высокочастотные радиосигналы на микрочип, имплантированный в сетчатку. Электроды на имплантированной микросхеме преобразуют эти сигналы в электрические импульсы, стимулирующие клетки сетчатки, которые соединяются с зрительным нервом. Затем эти импульсы передаются вдоль зрительного нерва в центры обработки зрения головного мозга, где они интерпретируются как изображение.



**Рис. 1.** Изображение с видеокамеры передается в мозг



**Рис. 2.** Четкость изображения пока еще низкая

## **2. Тактильное зрение**

Для незрячего человека любая информация о мире, хоть как-то компенсирующая отсутствие зрения, весьма важна. Если слух человек может использовать без каких-то дополнительных устройств, то осязание используется им только при непосредственном контакте с объектом. С развитием техники появляется возможность переводить зрительные образы в осязаемый объект, дающий информацию об объекте. В настоящей работе разрабатывается проект такого устройства.

Отчасти идея передачи информации была реализована в азбуке Брайля (Luis Braille, 1824), создавшего линейно-точечный шрифт. Применительно к этой азбуке в дальнейшем был сконструирован дисплей с подвижными деталями, передающими коды букв, доступные незрячим для считывания "пальцами" (тактильное чтение). Существует и ГОСТ на тактильные пиктограммы. Созданы и компьютеры с брайлевской клавиатурой (например, BrailleNote ПК, Компания Pulse Data).

Система искусственного зрения для незрячих подарила альтернативную идею — передавать информацию с видеокамеры на тактильный монитор из активных механических актуаторов [3].

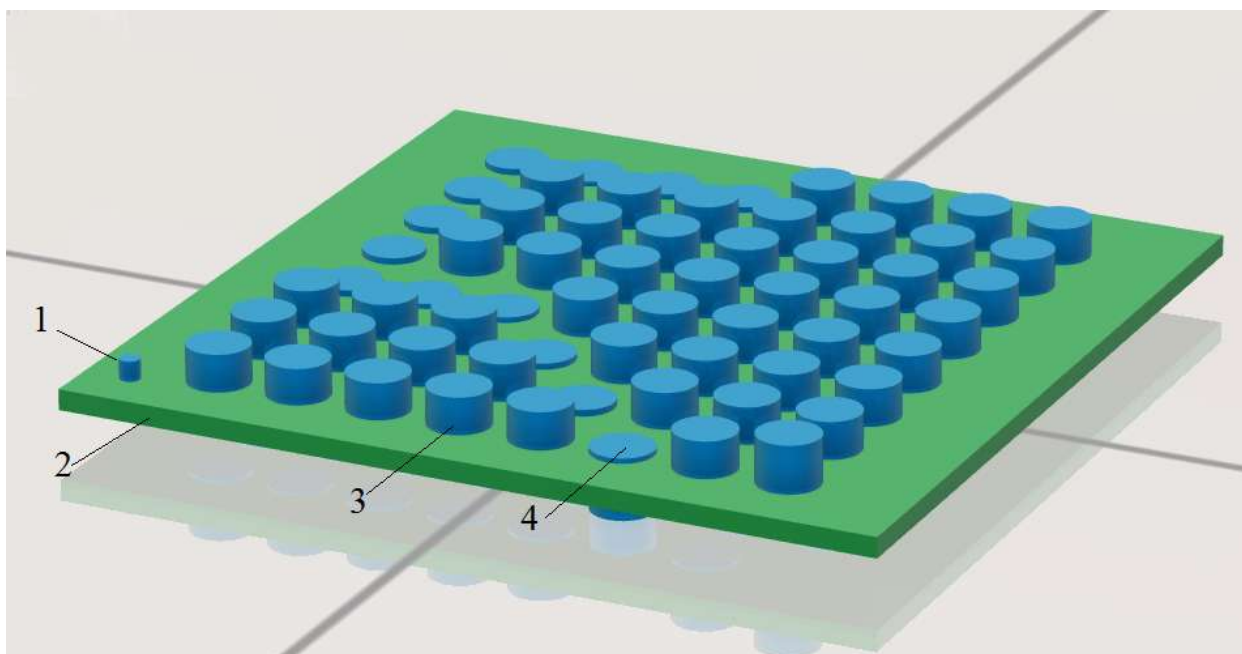
### Блок-схема устройства

Изображение, поступающее на вход устройства (миниатюрная видеокамера, закрепленная на головном уборе, очках, часах или одежде пользователя), передает сигнал на системный блок (рис. 3).



Рис. 3.

В данном устройстве используется связь bluetooth небольшой, не более 1 мВт, мощности, что не исключает полностью и проводную связь. Крепление камеры на очках или головном уборе предпочтительней, так как прием информации, связанный с поворотом головы, ближе всего к естественному зрению. Кроме того, видеокамера должна быть легко съемной для случая использования устройства при чтении книг или объявлений. Проводная связь при этом крайне нежелательна. Блок управления позволяет пользователю переключать режимы работы монитора, камеры и процессора. В частности, должно быть доступно управление чувствительностью прибора в зависимости от освещенности и окружающей среды (дома, на улице). Возможно также переключение режима (чтение, наблюдение) и управление размером матрицы механического монитора (ММ). За основу взята матрица 8 x 8 из 64 микро актуаторов [3,4] (рис. 4).



**Рис. 4.** Механический монитор

Наиболее подходящий тип актуаторов - магнитоэлектрический, наподобие звуковых катушек микронаушников и громкоговорителей. Требуемые параметры для актуаторов — небольшой ход (около 1 мм), экономичность, бесшумность, небольшой вес. Малая разрешающая способность ММ выбрана во-первых из-за ограниченности размеров, которые возможно быстро считать "на ощупь", особенно, если это динамическое изображение. Во-вторых, сложность устройства ограничивается как весом, так и его ценой. Однако вопрос об оптимальном размере ММ еще может обсуждаться, в том числе экспериментально, на основе опыта использования прототипа пользователями различного возраста и с разной степенью потери зрения.

Интеллектуальной частью устройства является программа, реализующая оптимальное для восприятия изображение. Более того, в данном устройстве применяется система выделения контура изображения [5, 6]. Таким образом, пользователь на ММ имеет не само изображение с полутонами и цветами, передать которое матрицей 8 x 8 или даже большей, невозможно, а только его контур. Опыт общения с незрячими показывает, что даже малая часть полученной информации об окружающем мире, дополненная из памяти, имеет весьма большое значение. Таким образом совершенно не обязательно "искусственному

глазу" придавать все функции, часть функций может и должен брать на себя мозг незрячего, дополняя недостающую информацию (цвет, форму, оттенки), подобно тому как и вполне зрячие люди, например, издали по походке узнают знакомого человека, не видя его лицо.

### Процедура выделения контура

Известны различные подходы к выделению границ (контуров) изображений, предназначенных для совершенствования работы систем управления и распознавания [6]. Наиболее известен метод, основанный на фильтре Собеля [7], выделяющий дискретные производные в двух взаимно перпендикулярных направлениях под углом к направлению сканирования. Более эффективным фильтром является пороговый фильтр и его модификации. Алгоритмы могут быть реализованы на стандартных языках программирования, в частности, для отладки и демонстрации возможностей в системе компьютерной математики Maple [5]. Фильтр Собеля основан на обработке изображения специальными масками  $\mathbf{A}_1$  и  $\mathbf{A}_2$ , действие которых фактически равносильно дискретному дифференцированию функции распределения интенсивностей пикселей, находящихся под ней. Эти матрицы взаимно транспонированные и имеют вид:

$$\mathbf{A}_1 = \mathbf{M} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_2 = \mathbf{M}^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Изображение представляет собой матрицу интенсивностей пикселей. Первая матрица собирает информацию вокруг пикселя  $\alpha_{ij}$  на строке  $i$  и столбце  $j$  изображения в виде суммы

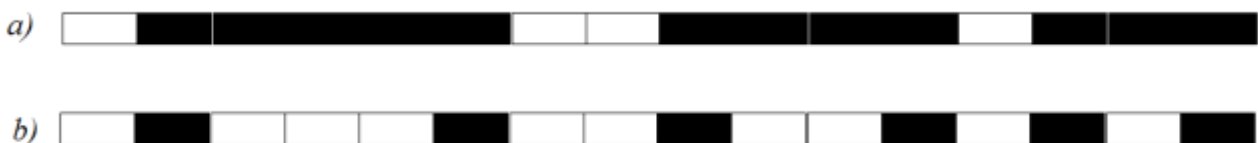
$$X = \sum_{k=1}^3 \sum_{m=1}^3 A_{1,km} b_{km},$$

где  $b_{km}$  – элементы подматрицы изображения вокруг пикселя с интенсивностью  $\alpha_{ij}$ . Аналогичную сумму, имеющую смысл дискретной производной по направлению, перпендикулярному первому, собирает транспонированная матрица

$$Y = \sum_{k=1}^3 \sum_{m=1}^3 A_{2,km} b_{km}.$$

Затем интенсивность  $\alpha_{ij}$  заменяется на новое значение  $\sqrt{X^2 + Y^2}$ . Таким образом изображение предельно "огрубляется" и как некоторый код реального изображения доводится до ММ. Остальную (главную) работу проводит мозг человека, включающего ассоциативные связи, опыт, логику, "память рук" (здесь, если точнее, — пальцев). Однако у этого широко используемого алгоритма есть недостатки. Во-первых, он работает медленно, во-вторых, в результате получаются полутона, которые невозможно отобразить на ММ, допускающем только два состояния 0 или 1 (актуатор поднят или опущен). С развитием предлагаемой системы в дальнейшем, возможно, вероятно три положения актуатора и передача одного полутона.

Другой подход, на котором на этом этапе предлагается остановиться, — использование порогового фильтра. Алгоритм фильтра уже реализован в системе компьютерной математики Maple [5]. Используется специальный пакет этой системы ImageTools, предназначенный для обработки изображений. Принято: белый цвет пикселя соответствует интенсивности 1, черный – 0. Пороговый фильтр работает по принципу сканера. Сначала изображение переводится в черно-белое и применяется пороговое преобразование пикселей с заранее выбранным порогом  $H$ . Значение порога подбирается опытным путем, обычно, для изображений со средней контрастностью  $H=0,5$ . Пиксели, интенсивность которых меньше порога, переводятся в черные, остальные – в белые. Сканируя построчно изображение попиксельно в одном направлении, фильтр выделяет в каждой строке границы частей изображения, заменяя внутренние его части белыми пикселями и расставляя на границах черные (рис. 5).



**Рис. 5.** *a* — исходная строка изображения,  $\alpha_m=3$ , *b* — выделенные границы

Аналогичное сканирование производится в перпендикулярном направлении. Результаты затем складываются. В системе Maple это эквивалентно перемножению интенсивностей пикселей. Скорость фильтра, оцененная в [6,8-10], значительно выше скорости работы фильтра Собеля, и эффект от его применения растет с увеличением размера изображения. Язык программирования вполне можно заменить на более практичный для использования в микроконтроллерах, например, Си.

Оценить трудоемкость предлагаемой процедуры можно по соотношению времени, затраченному на сканирование без операций замены пикселей (если, например, строка состоит из пикселей одного цвета), и времени сканирования с операцией замены. Пусть в  $i$ -й строке матрицы изображения  $m \times n$  длиной  $n$  содержится  $\alpha_i$  областей черных пикселей. В этом случае, принимая, что затраты на замену пикселя в  $k$  раз больше времени сканирования, получаем общее время на обработку этой строки  $t_i = n + 2k\alpha_i, i = 1, \dots, m$ . Параметр  $k$  определяется отчасти языком программирования и в большинстве случаев  $2 < k < 5$ . Таким образом, оценить затраты времени на пороговую обработку можно отношением

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^m n + 2k\alpha_i}{mn} = 1 + 2k \sum_{i=1}^m \alpha_i / (mn).$$

Полученный коэффициент, в знаменателе которого стоит условное время обработки "чистого листа", а в числителе время с учетом процедуры замены пикселя, показывает, что пороговый фильтр обладает несомненным преимуществом по скорости работы сравнительно с фильтром Собеля. Время работы фильтра Собеля и любых других фильтров с матричной маской сбора информации не зависит от контрастности изображения. Следовательно, первый этап выделения контура ("контрастирования" по величине порога  $H$ ) может заметно ускорить работу алгоритма порогового выделения, в то время как скорость работы фильтра Собеля от  $H$  не зависит. Здесь, конечно, нужно уже экспериментальным путем выбирать разумный порог так, чтобы в погоне за скоростью не потерять полезную информацию.



## Выводы

Предлагаемая схема искусственного зрения не претендует на 100% мощность незрячим и является лишь частичной, дополнительной системой поддержки. Для людей же с полной потерей слуха и зрения эта система может стать основным "окном" в мир. Кроме того, по своей структуре в описанном проекте системы возможностей значительно больше, чем кажется на первый взгляд. Главная часть системы — механический монитор, может быть использован для чтения книг, хранения изображений, полученных ранее. Например, можно с помощью пульта управления дать команду для записи полученного изображения для того, чтобы обратиться к нему позже для заучивания или просто для напоминания. При подключении прибора к интернету необработанную фильтрами информацию с камеры можно передавать родственникам или врачам, следящим за незрячим пациентом.

Важным моментом работы устройства является его настройка. К числу управляемых параметров относится настройка чувствительности и настройка времени удержания изображения. По существу прибор работает в режиме реального времени, и если изображение меняется слишком быстро, сканировать ММ пальцами и распознавать его будет затруднительно. Поэтому требуется установка времени задержки.

В настоящей работе приведена общая концепция прибора. Для более тщательного анализа необходимо тестирование опытных образцов. К достоинству прибора относится его относительно невысокая предполагаемая стоимость. Учитывая, что большинство элементов, входящих в прибор, стандартизированы, цена не должна превышать стоимость мобильного телефона хорошего качества. При этом ММ — единственный элемент, стоимость которого трудно точно указать заранее. Остальные же элементы (камера, связь, контроллер, пульт управления) вполне доступны и в различных фирмах-производителях имеют варианты для выбора.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-01-00429.

## Список литературы

1. [www.engineering.unsw.edu.au/biomedical-engineering/ research / research-highlights/bionic-eye-implant](http://www.engineering.unsw.edu.au/biomedical-engineering/research/research-highlights/bionic-eye-implant) (дата обращения: 10.11.2017)
2. Hasmat S., Lovell N. H., Suaning G. J., Low T.H., Clark J. Restoration of eye closure in facial paralysis using implantable electromagnetic actuator // *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*. – 2016. – Vol. 69. – No.11. – Pp.1521-1525.
3. Белов Л. МЭМС-компоненты и узлы радиочастотной аппаратуры // *Электроника: Наука, технология, бизнес*. – 2008. – №. 2. – С. 20-29.
4. Carstens J. R., By-Delaney D., Diane M. Automatic control systems and components. – Simon & Schuster, 1989.
5. Кирсанов М. Н. Maple и MapleT. Решения задач механики. СПб.: Изд-во Лань, 2012. — 512 с.
6. Кирсанов М.Н. Модификация и анализ фильтров выделения контуров изображений // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова* 2015. № 5 (33). С. 201-206.
7. Оператор Собеля // *Википедия*. 2013-2013. Дата обновления: 13.03.2013. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=53441014> (дата обращения: 10.11.2017).
8. Kirsanov A., Vavilin A., Jo K-H. Processing Contours // *Proceedings. The 5th International Forum on Strategic Technology*. Oct. 13-15. — 2010, Ulsan, Korea. IFOST.
9. Груничев А.В., Демкин Д.В., Кирсанов М.Н. Детектирование границ объекта методом пороговой фильтрации карты насыщенности цветного изображения // *Инновационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции*. Том 2./Гл. ред. С.У. Увайсов - М.:МИЭМ НИУ ВШЭ, — 2013. — С. 183-187.
10. Казмирук И.Ю., Кирсанов М.Н. Анализ работы модифицированного фильтра Собеля с маской 5 x 5 // *Научный альманах*. 2016. N11-2(25) . С. 131-134. DOI: 10.17117/na.2016.11.02.131