

УДК 004.93

Е.Е. Пятикоп, канд. техн. наук,
ГВУЗ "Приазовский государственный технический университет", г. Мариуполь, Украина
pee_pstu@edu.ua

Представление изображений на основе нечетких когнитивных моделей

В статье описываются знания когнитивной психологии о первичной обработке информации в зрительной системе. Вводится математическое описание этих знаний с помощью нечетких моделей (модель ганглиозной клетки, модель клетки латерального колленчатого тела, модели клеток первичной зрительной коры). На основе предложенных моделей сформирована многоуровневая нечеткая модель представления изображения.

Ключевые слова: обработка изображения, когнитивные модели зрительного восприятия, нечеткие модели, представление изображения в виде ориентированных элементов.

Введение

На сегодняшний день актуальной задачей остается проектирование систем компьютерного зрения, которые достаточно востребованы в самых различных сферах человеческой деятельности. В основе работы таких систем лежит процесс автоматической обработки визуальной информации. Несмотря на достигнутые результаты в области цифровой обработки изображений [1-2], расширение круга задач и изменение условий использования ставит новые требования к современным системам компьютерного зрения. Поэтому для обработки изображений рассматриваются также сведения о зрительном восприятии живых существ. Результаты исследования строения глаз, нейронов и структур мозга, относящихся к обработке визуальных раздражителей, как у человека, так и у различных животных описаны в когнитивной психологии. Эти знания дают возможность моделировать строение восприятия глаза человека и применять полученные модели для обработки изображения. Как приближение к биологическому аппарату – используется аппарат нечеткой логики.

Постановка задачи

После проецирования на сетчатку изображения в ней происходят такие процессы:

1) Первые фоторецепторы палочки и колбочки через промежуточные биполярные клетки активизируют определенные рецептивные поля ганглиозных клеток, которые в зависимости от реакции рецептивных полей могут быть типа «ON» (характерно увеличение частоты генерации разрядов, если свет попадает в область центра рецептивного поля и снижение частоты генерации разрядов при попадании света в область вокруг этого чувствительного центра) или «OFF» (характерно противоположное поведение) [3-5].

Множество активных ганглиозных клеток образует первую «проекцию» изображения.

2) Далее, большинство аксонов ганглиозных клеток образуют синаптические связи с клетками латерального колленчатого тела (ЛКТ), рецептивные поля которых очень похожи на рецептивные поля ганглиозных клеток сетчатки, но помимо этого клетки ЛКТ отличаются размерами и делятся на две группы: парвоцеллюлярные (приспособлены к выявлению небольших различий между визуальными характеристиками наблюдаемого объекта) и магноцеллюлярные (эффективны при распознавании неотчетливых изображений) клетки [4-6].

3) В ЛКТ первая «проекция» изображения становится пульсирующей [6]. Сразу же после движения глаз в ЛКТ формируется ретинопическая карта, которая передается в первичную зрительную кору. Диаметр рецептивных полей уменьшается, и на основе него формируются новые ретинопические карты. До очередного скачка зрительная кора перерабатывает данные, полученные из ЛКТ.

4) Для возбуждения клеток зрительной коры требуется более тонкий механизм, что отражается на анатомических особенностях самих клеток и на сигналах, необходимых для их возбуждения. Существует несколько типов этих клеток: *простые* клетки реагируют только на линейные сегменты, ориентированные определенным образом; *сложные* клетки требуют движения в определенном направлении; *гиперсложные* клетки требуют, чтобы находящиеся внутри их рецептивных полей стимулы были определенной длины. Кроме этого известно [3, 4, 7], что клетки, реагирующие на одну ориентацию, формируют, собой колонку зрительной коры (рис. 1). При этом рецептивные поля прилегающих клеток имеют другие ориентационные предпочтения, которые изменяются постепенно.

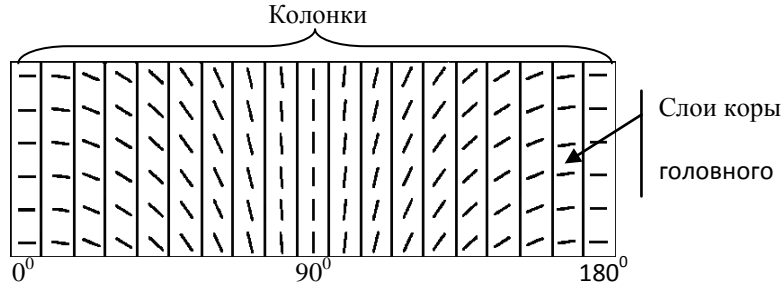


Рисунок 1 – Колонки клеток с разными ориентационными предпочтениями.

Для применения этих знаний опишем их с помощью нечетких моделей.

Когнитивные модели восприятия изображения на базе аппарата нечеткой математики

Пусть исходное изображение задано пиксельным полем $P = \{ p_{x,y} / x \in \{0, \dots, W-1\}, y \in \{0, \dots, H-1\} \}$, где W – ширина изображения, H – высота изображения, а каждый пиксель $p_{x,y}$ характеризуется функцией яркости $f(p_{x,y}) \rightarrow [0, 1]$.

Отобразим пиксельное поле P на множестве клеток $K \subset P$, где $K = \{ k_i / k_i \subseteq P / i \in n_k \}$, n_k – количество клеток.

Модель представления ганглиозной клетки k_i с ее рецептивным полем формируется на пиксельном поле P (рис.2) и включает координаты пикселя-центра клетки $p_{cx,cy} \in P$, радиус ядра $Rk \in 1 \dots N$, радиус полости $Rc \in 1 \dots N$:

$$k_i = \langle p_{cx,cy}, Rk, Rc, Pk, Pc \rangle, \quad (1)$$

где Pk – множество пикселей $p_{x,y}$, принадлежащих ядру радиусом Rk ; Pc – множество пикселей $p_{x,y}$, принадлежащих полости радиусом Rc .

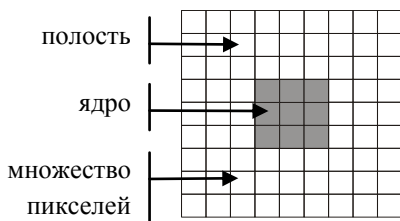


Рисунок 2 – Модель ганглиозной клетки и ее характеристики

Обработка информации клеткой моделируется как вычисление функции принадлежности нечеткого множества «активность клетки» на основе следующих соображений.

Реально фрагмент пиксельного поля, принадлежащий конкретной клетке, не однозначно соответствует одному из двух приведенных типов клетки (с ON-центром или с OFF-центром). Поэтому принадлежность фрагмента пиксельного поля к конкретному типу носит нечеткий характер. В связи с этим для клетки k_i введена ее нечеткая модель A_i , характеризующая принадлежность клетки к типу с ON-центром или с OFF-центром.

Модель клетки первого уровня (уровня ГКС) описана выражением:

$$k_i^{(1)} = \langle p_{cx,cy} \in P, Rk \in 1 \dots N, Rc \in 1 \dots N, Pk, Pc \rangle \quad (2)$$

а результат обработки информации по этой модели – нечетким множеством:

$$A_i^{(1)} = \{ ON \mid \mu_{A_i^{(1)}}(ON), OFF \mid \mu_{A_i^{(1)}}(OFF) \}, \quad (3)$$

где

$$\mu_{A_i^{(1)}}(ON) = \begin{cases} 0, & \text{для } \frac{(1 - \chi_{Pk}) + \chi_{Pc}}{2} \leq 0.5; \\ \frac{(1 - \chi_{Pk}) + \chi_{Pc}}{2}, & \text{для } \frac{(1 - \chi_{Pk}) + \chi_{Pc}}{2} > 0.5, \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{A_i^{(1)}}(OFF) = \begin{cases} 0, & \text{для } \frac{(1 - \chi_{Pc}) + \chi_{Pk}}{2} \leq 0.5; \\ \frac{(1 - \chi_{Pc}) + \chi_{Pk}}{2}, & \text{для } \frac{(1 - \chi_{Pc}) + \chi_{Pk}}{2} > 0.5. \end{cases} \quad (5)$$

Реакция каждой из областей клетки определяется по формуле:

$$\chi_R = \begin{cases} 0 & \text{для } \delta = 0, \\ \frac{\sum_{p_{x,y} \in R} f(p_{x,y}) - n \cdot \min_{p_{x,y} \in R} \{f(p_{x,y})\}}{\delta \cdot n} & \text{для } \delta > 0, \end{cases} \quad (6)$$

$\delta = \max_{p_{x,y} \in (Pk \cup Pc)} \{f(p_{x,y})\} - \min_{p_{x,y} \in (Pk \cup Pc)} \{f(p_{x,y})\}$ – перепад яркости в клетке, а $R \in \{Pk, Pc\}$, n – количество пикселей области R .

Величина χ_{Pk} показывает степень насыщенности ядра белым цветом, а χ_{Pc} – степень насыщенности полости белым цветом.

Проекцию сетчатки на разных уровнях обработки визуальной информации в когнитивной

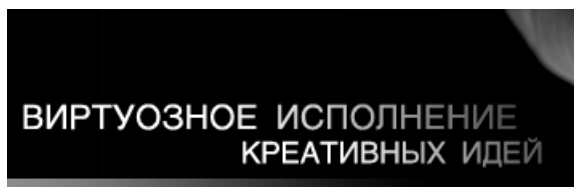
психологи называют ретинопической картой. При этом каждая ретинопическая карта является неким обобщенным образом, экстрактом некоторых необходимых и характерных признаков или свойств всего того, что находится в поле зрения.

При формализации ретинопическая карта, как модель целостного представления результата обработки изображения всего пиксельного поля, по модели ганглиозных клеток представлена выражением:

$$M^{(1)} = \{A_i^{(1)}\}, i \in 1 \dots n_k, \quad (7)$$

где $A_i^{(1)}$ – нечеткое множество по формуле (3), $A_i^{(1)}$ – нечеткое множество ближайшее к обычному; n_k – количество нечетких множеств.

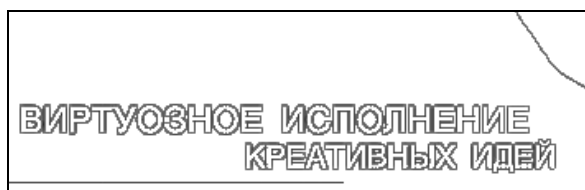
Ганглиозные клетки сетчатки в первую очередь обеспечивают восприятие краев и границ изображения, поэтому для проверки разработанной модели были проведены эксперименты по обнаружению контура на различных типах изображений и сравнение с другими методами (фильтры Собеля, Превита и др.). Пример приведен на рисунке 3. Результаты показали, что предлагаемая модель, применима к выделению контура наравне с рассмотренными методами и более эффективна для изображений с малыми перепадами яркости.



а) исходное изображение



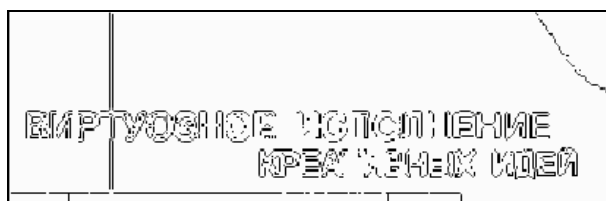
б) контур, построенный экспертом



в) метод ганглиозных клеток



г) фильтр Превита;



д) фильтр Собеля;



е) фильтр Лапласиан-Гауссиана;



ж) линейный фильтр с маской h;



з) метод Канни;

Рисунок 3 – Сравнение разрабатываемого метода с другими методами выделения контура

Модель клеток латерального коленчатого тела (ЛКТ) построена на информации о том, что они по строению аналогичны ганглиозным клеткам, но отличаются размерами рецептивных полей. Поэтому модель клетки ЛКТ строится на основе модели ганглиозных клеток (2)-(3), в которую введен параметр β размер рецептивного поля:

$$Rk' = [\beta \cdot Rk], Rc' = [\beta \cdot Rc], \quad (8)$$

где для парвоцеллюлярных клеток ЛКТ имеем $\beta \leq 1$, для магноцеллюлярных – $\beta > 1$.

Модель клетки уровня ЛКТ представлена выражением

$k_i^{(2)} = \langle p_{cx,cy} \in P, Rk' = \beta \cdot Rk, Rc' = \beta \cdot Rc, Pk, Pc \rangle$,
а результат обработки информации по этой модели – нечетким множеством:

$$A_{i\beta}^{(2)} = \{ ON \mid \mu_{A_i^{(2)}}(ON), OFF \mid \mu_{A_i^{(2)}}(OFF) \}, \quad (9)$$

где

$$\mu_{A_i^{(2)}}(ON) = f(\mu_{A_i^{(1)}}(ON), \beta),$$

$$\mu_{A_i^{(2)}}(OFF) = f(\mu_{A_i^{(1)}}(OFF), \beta).$$

В результате обработки всего изображения по модели клеток ЛКТ формируется ретинопическая карта второго уровня

$$M_{\beta}^{(2)} = \{ A_{i\beta}^{(2)}, i \in 1 \dots n_k \}.$$

Эксперименты проводились с целью исследования результатов обработки информации по модели клеток ЛКТ для различных параметров парвоцеллюлярных и магноцеллюлярных клеток, т.е. варьировался параметр β . На рис. 4 а) показано исходное изображение, а на рис. 4 б) - г) графическая иллюстрация результатов обработки исходного изображения по модели клетки ЛКТ с различными β . Визуальные результаты показывают, что при величине $\beta = 1,4$, характеризующей магноцеллюлярные клетки (рис. 4 г)), контур проявляется при небольшом перепаде яркости. Рис. 4 б), полученный при величине $\beta = 0,6$, показывает, что

парвоцеллюлярные клетки имеют низкую чувствительность к малым перепадам яркости.

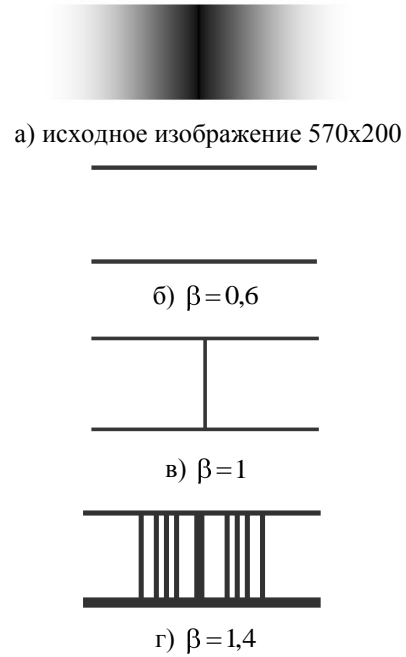


Рисунок 4 – Результаты моделирования клеток уровня ЛКТ

Результат показал, что использование этой модели позволяет адаптировать детализацию к разновеликим фрагментам изображения [8].

Следующим этапом моделируется работа клеток ПЗК – гиперсложные клетки, которые реагируют на линейные сегменты, ориентированные определенным образом и определенной длины. Клетки, реагирующие на одну ориентацию, формируют колонку зрительной коры. При этом рецептивные поля прилегающих клеток имеют другие ориентации, которые изменяются постепенно. Для активизации клеток ПКЗ необходима активность не отдельных клеток предыдущего уровня, а группы смежных клеток, показанных на рис. 5.

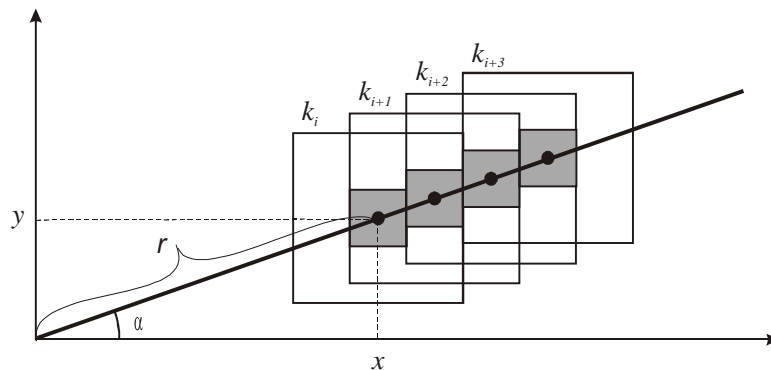


Рисунок 5 – Совокупность смежных клеток

Для описания группы смежных клеток введено понятие детектора, представленного выражением:

$$D^{\alpha} = \langle K^{\alpha,r}, \alpha, \omega, \ell^*, \delta(D^{\alpha,\omega}) \rangle, \quad (10)$$

где $K^{\alpha,r} = \langle k^{\alpha,r+2Rk}, k^{\alpha,r+4Rk} \dots k^{\alpha,r+\ell^* \cdot 2Rk} \rangle$; α – угол ориентации от 0^0 до 175^0 ; ω – ширина детектора, определяемая $\omega = Rk$; ℓ^* – длина детектора, определяемая количеством клеток смежных $K^{\alpha,r}$, но не менее 4; $\delta(D^{\alpha,\omega})$ – функция уверенности наличия детектора, вычисляемая по формуле:

$$\delta(D^{\alpha,\omega}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \prod_{k_i \in K^{\alpha,r}} \mu_{A_i}(ON) = 0 \text{ или } \prod_{k_i \in K^{\alpha,r}} \mu_{A_i}(OFF) = 0; \\ \frac{1}{\ell^*} \cdot \sum_{k_i \in K^{\alpha,r}} \max(\mu_{A_i}(ON), \mu_{A_i}(OFF)), & \\ \text{если } \prod_{k_i \in K^{\alpha,r}} \mu_{A_i}(ON) \neq 0 \text{ или } \prod_{k_i \in K^{\alpha,r}} \mu_{A_i}(OFF) \neq 0. \end{cases} \quad (11)$$

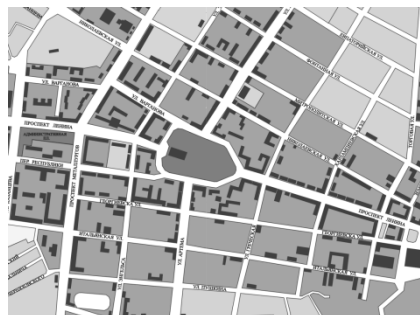
Окончательно гиперсложная клетка $G^{\alpha,\omega,\ell}$ представлена выражением:

$$G^{\alpha,\omega,\ell} = \langle K^{\alpha,r}, \alpha, \omega, \ell, \delta(G^{\alpha,\omega,\ell}) \rangle, \quad (12)$$

где $\delta(G^{\alpha,\omega,\ell}) = \delta(D^{\alpha,\omega})$.

Результатом обработки изображения по модели клеток ПКЗ есть $M_{\omega}^{(3)} = \langle \omega, \{C^{\alpha}, \forall \alpha \in [0^0, 10^0, 20^0 \dots 170^0]\} \rangle$, где $C^{\alpha} = \langle \bigoplus_j^{\alpha,\omega,\ell_i} \rangle_{\ell_i}$.

Последний этап представляет изображение в виде ориентированных элементов-детекторов, что является базовым формальным аппаратом для решения различных задач распознавания объекта. Например, на рисунке 6 показано исходное изображение и графическое представление результата обработки по модели ПКЗ, где для каждого элемента (линии) известны его положение, длина и ориентация, т.е. представление $M_{\omega}^{(3)}$. Использование данного подхода апробировано в задаче покомпонентного распознавания символов [9-10].



а) исходное изображение 1136x844



б) графическое представление модели

Рисунок 6 – Обработка по модели клеток ПКЗ

Выводы

Впервые формализованы в виде трехуровневой нечеткой модели когнитивные теории восприятия изображения ганглиозными клетками, клетками латерального колленчатого тела (ЛКТ), клетками первичной зрительной коры (ПЗК). Преимущества модели в ее гибкости и возможности настройки на прикладную задачу. Разработанные модели представления изображения на уровнях ганглиозных клеток, клеток ЛКТ и клеток ПЗК являются универсальным средством, которое может использоваться в задачах выделения контура, позволяет представить контур в виде ориентированных элементов, что дает возможность повысить эффективность решения задачи покомпонентного распознавания объекта.

Список литературы

1. Методы компьютерной обработки изображений / под. ред. В.А. Сойфера. – [2-е издание, испр.]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
2. Русин Б.П. Системи синтезу, обробка та розпізнавання складоструктурових зображень / Б.П. Русин. – Львів: Вертикаль, 1997. – 264 с.
3. Андерсон Дж. Когнитивная психология / Дж. Андерсон; пер. с англ. С. Комаров. – [5-е изд.]. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с. – (Серия «Мастера психологии»).
4. Шиффман Х.Р. Ощущение и восприятие / Х.Р. Шиффман; пер. с англ. З. Замчук. – [5-е изд.]. – СПб.: Питер, 2003. – 928 с., ил. – (Серия «Мастера психологии»).
5. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение / Д. Хьюбел; пер. с англ. О.В. Левашова, Г.А. Шареева, А.Л. Бызова. – М.: Мир, 1990. – 239 с.
6. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов / Д. Марр; пер. с англ. Н.Г. Гуревич. – М.: Радио и связь, 1987. – 440 с.

7. Демидов В.Е. Как мы видим то, что видим / В.Е. Демидов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Знание, 1987. – 240 с.
8. Пятикоп Е.Е. Некоторые результаты компьютерных экспериментов локализация строк текста на основе когнитивных моделей восприятия изображения / Е.Е. Пятикоп // Вісник донецького університету. Сер. А: Природничі науки. – 2008. – № 2, ч. 2. – С. 527-532.
9. Каргин А.А. Модели представления ключевых элементов в задаче покомпонентного распознавания символов текста / А.А. Каргин, Е.Е. Пятикоп // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2011. – №3. – С. 48-55.
10. Каргин А.А. Покомпонентное распознавание символов текста на основе нечеткого представления / А.А. Каргин, Е.Е. Пятикоп // Системи обробки інформації. – 2011. – №8 (98). – С. 13-17.

Надійшла до редакції 20.05.2013

О.Є. П'ЯТИКОП

ДВНЗ "Приазовський державний технічний університет"

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ МОДЕЛЕЙ

У статті описуються знання когнітивної психології про первинну обробку інформації в зоровій системі. Вводиться математичний опис цих знань за допомогою нечітких моделей (модель гангліозної клітки, модель клітки латерального колінчастого тіла, моделі кліток первинної зорової кори). На основі запропонованих моделей сформована багаторівнева нечітка модель представлення зображення.

Ключові слова: обробка зображення, когнітивні моделі зорового сприйняття, нечіткі моделі, представлення зображення у вигляді орієнтованих елементів.

Ye. Ye. PIATIKOP

Pryazovskyi State Technical University

REPRESENTATION OF IMAGES BASED ON FUZZY COGNITIVE MODELS

The article describes the knowledge of cognitive psychology on the primary information processing in the visual system. A mathematical description of this knowledge by using fuzzy models (ganglion cell model, lateral geniculate body cell model, primary visual cortex cell model) is provided. On the basis of these models a multi-level fuzzy model of image representation is developed.

Key words: image processing, cognitive models of visual perception, fuzzy model, representation of an image in the form of oriented elements.

/