

# Алгоритм поиска гиппокампа на серии магнитно-резонансных изображений головного мозга при диагностике болезни Альцгеймера\*

В.Н. Гридин<sup>1</sup>, Н.Н. Яхно<sup>1,2</sup>, В.Е. Синицын<sup>1,2</sup>, В.А. Перепелов<sup>1,2</sup>, М.И. Труфанов<sup>1</sup>, В.А. Виноградов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Центр информационных технологий в проектировании РАН

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет)

**Аннотация.** В статье рассматривается разработка алгоритма детектирования гиппокампа. Алгоритм базируется на математических основах принятия решения на базе нечеткой логики при использовании в качестве исходных данных результатов предварительной обработки изображений и результатов распознавания объектов на основе их эталонного описания. Результатом работы алгоритма является нахождение и вычисление необходимых параметров при диагностике болезни Альцгеймера.

**Ключевые слова:** распознавание, гиппокамп, информатика, обработка изображений, болезнь Альцгеймера.

DOI 10.14357/20718632180403

## Введение

В условиях постоянно растущего числа лиц, у которых диагностируется болезнь Альцгеймера, являющейся ведущей причиной возникновения деменции в популяции [1], особую актуальность приобретает разработка методов, алгоритмов и программных средств для диагностики данного заболевания. Одной из ключевых особенностей диагностики болезни Альцгеймера (БА) с помощью нейровизуализационных методов исследования (в частности магнитно-резонансной томографии), является оценка объема гиппокампа (визуальная или с помощью программного обеспечения для постпроцессорной обработки полученных данных) – основного и наиболее рано вовлекающегося в патологический процесс структурного образования.

Несмотря на развитие методов обработки изображений, автоматическая локализация гиппокампа на серии магнитно-резонансных (МР) изображений является весьма сложной задачей, требующей формализации множества параметров, описываемых, в том числе, при помощи обобщенного семантического описания на естественном языке [2-4].

Для решения данной задачи наиболее эффективны методы нечеткой логики, позволяющие формализовать в виде численных значений совокупности параметров, определяющих принятие решения и вычисление искомым признаков при семантическом нечетком описании исходных совокупностей входных изображений и содержащихся на них объектах [5].

\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-11-01288).

Систематический литературный поиск и анализ научно-технических и медицинских исследований показал, что гиппокамп является ключевым анатомическим образованием, поражающимся у лиц с БА, чья форма и размер обеспечивают наиболее точную постановку диагноза при данном заболевании.

Таким образом, неотъемлемой процедурой для решения автоматической диагностики болезни Альцгеймера является обнаружение данной анатомической структуры [6, 7].

Рассмотрим разработанный алгоритм детектирования гиппокампа, необходимый для решения поставленной задачи. Алгоритм базируется на математических основах принятия решения на базе нечеткой логики при использовании в качестве исходных данных результатов предварительной обработки изображений и результатов распознавания объектов на основе их эталонного описания [8].

Новизной алгоритма является использование процедур выбора ключевых изображений для расчета параметров предварительной обработки изображений, использование спектральной характеристики отдельных регионов мозга на двумерном изображении в сагиттальной проекции для уточнения координат гиппокампа, принятие решения о наличии гиппокампа на основе нечеткой логики (с учетом прямых и косвенных признаков). Указанные нововведения обеспечивают программную реализацию алгоритма для оценки характеристик гиппокампа в автоматическом режиме, что положительным образом скажется на повышении качества и скорости диагностики данного заболевания.

Основными шагами выполнения данного алгоритма являются (Рис. 1):

- ввод серии изображений в формате DICOM,
- выполнение операций начальной предварительной обработки изображений для вычисления необходимых параметров дальнейшей обработки и распознавания структур мозга,
- коррекция согласно рассчитанным параметрам всей последовательности обрабатываемых изображений,
- определение (выбор) центрального изображения в исследуемой последовательности

изображений, от которых в сторону их возрастания и в сторону убывания производится итерационный расчет характеристик изображений и расчет характеристик объектов,

- уточнение выбранных изображений, предположительно являющихся центральными для поиска левого и правого гиппокампа на сагиттальной проекции,

- подтверждение границ гиппокампа (на каждом изображении) из серии изображений с ранее выбранными центральными изображениями,

- анализ величины изменения границ гиппокампа от изображения к изображению с целью его финального подтверждения на серии изображений посредством проверки схожести формы и координат границ гиппокампа.

Рассмотрим более подробно действия согласно разработанному алгоритму.

На вход алгоритма поступает последовательность магнитно-резонансных изображений, представленных в сагиттальной проекции (блок 1 алгоритма). Как правило, количество изображений составляет около 200. Данные изображения хранятся на диске и обрабатываются последовательно. При этом по результатам обработки каждого изображения формируется набор параметров, который сохраняется в памяти и используется для дальнейшей обработки.

В блоке 2 алгоритма помечаются для исключения из дальнейшей обработки изображения, не содержащие необходимых данных для локализации гиппокампа [9]. Критерием исключения изображений является не превышение числа отличных от черных пикселей заданного порога (Рис. 2). Пиксель считается не черным, если его значение амплитуды превышает порог 15% от всего диапазона яркости.

На следующем шаге в блоках 4-8 производится по изображениям с заданным шагом  $s$ , определяемым схожестью смежных изображений, и экспериментально выбранным  $s=3$ , выполнение расчетов, направленных на последующий выбор параметров предварительной обработки изображений, обеспечивающий повышение информативности исходных данных за счет изменения контрастности, яркости и адаптивной коррекции шума [10].

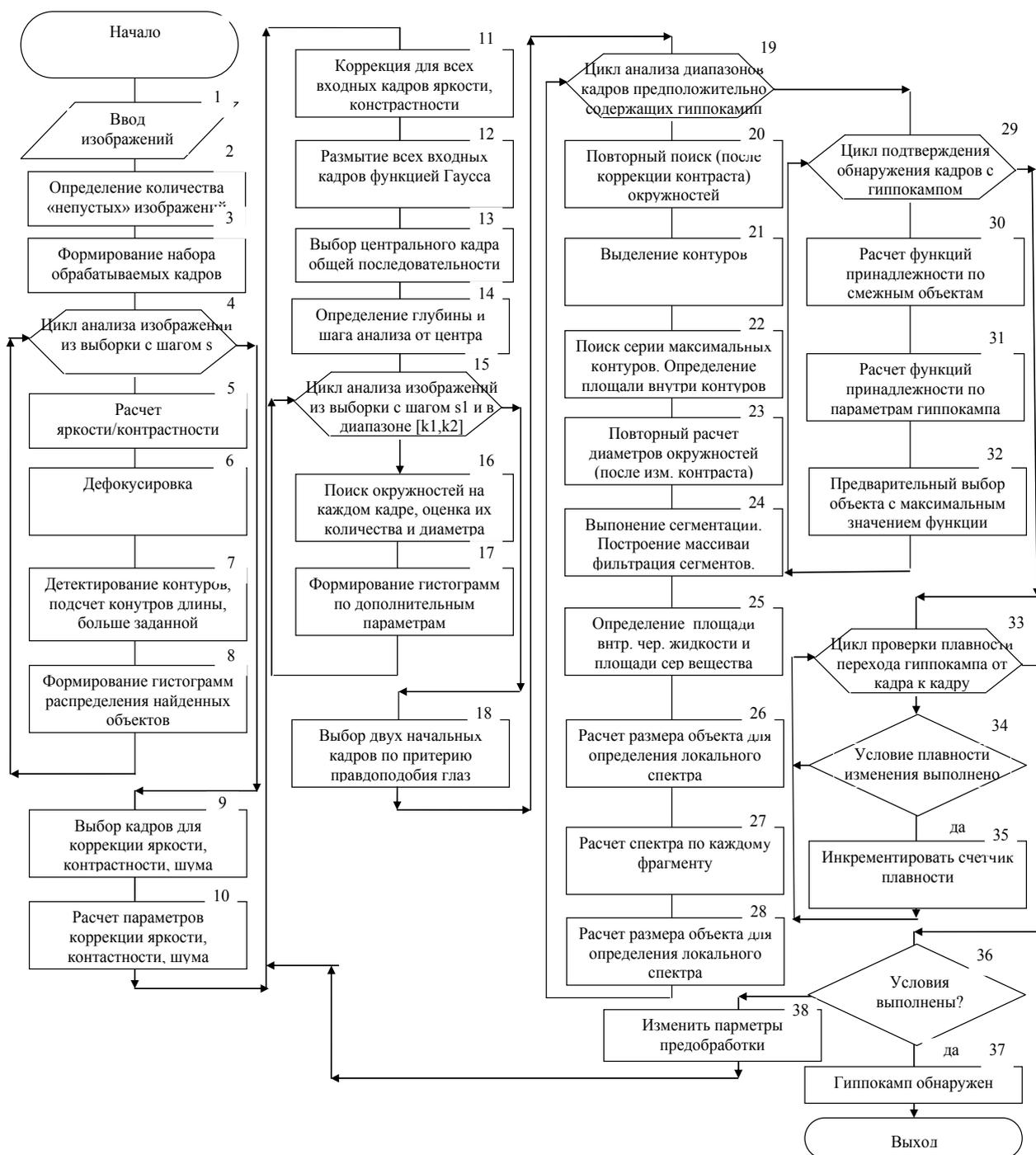


Рис. 1. Алгоритм обнаружения гиппокампа по серии МРТ изображений

В данных блоках рассчитываются и предварительно изменяются:

- значения яркости и контрастности исходя из динамического диапазона получаемых изображений и количества и непрерывности детектируемых контуров,

- формирование гистограммы распределения длин найденных контуров и итерационное изменение параметров предварительной обработки при наличии высокого уровня шума на изображениях,

- выполнение размытия изображения функцией Гаусса для обеспечения дефокусировки

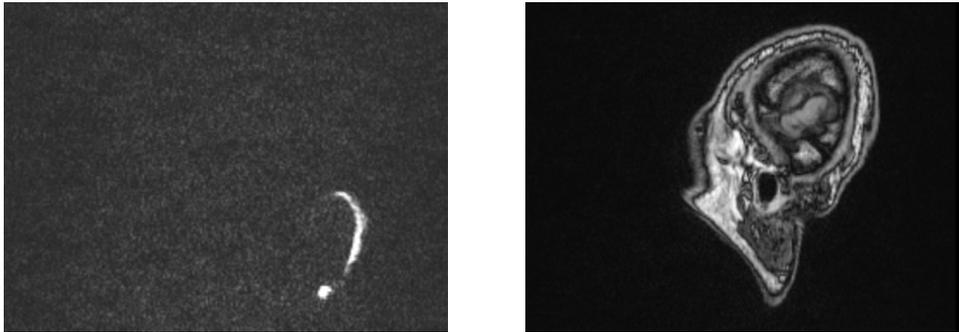


Рис. 2. Изображения, исключаемые из обработки как априори не содержащие информации о гиппокампе

и обеспечения уменьшения влияния случайного шума (Рис. 3).

В результате расчета яркости, контрастности и параметров детектируемых контуров формируются наборы коэффициентов для расчета параметров нормализации яркостного диапазона и приведения яркостного диапазона из входных изображений к градациям 8 бит.

Далее производится обработка всех исходных изображений последовательности в формате DICOM на основе рассчитанных коэффициентов для повышения точности анализа последующих изображений в серии.

В блоках 15-17 алгоритма выполняется выбор центрального изображения, относительно которого производится анализ следующих процедур обработки и распознавания данных. Ключевым в блоке 13 является центральное (относительно общей серии) изображение.

В следующих блоках (блоках 15 – 18) производится детектирование контуров в форме окружностей как ключевого признака для поиска глаз, что, как рассмотрено ранее, является одним из основных параметров выделения

изображений, на которых гиппокамп наиболее наблюдаем и позволяет использовать последовательность изображений для выполнения анализа его формы.

Далее производится отдельная обработка данных по каждому из изображений, предположительно содержащих глаза и выбранных в качестве ключевых (блок 18).

В процессе данной обработки выполняется уточненное детектирование окружностей и построение гистограммы их распределения.

Данная гистограмма позволяет:

а) найти изображение с соответствующей размеру глаза окружностью и выбрать данное изображение как базовое для следующей части анализа и распознавания данных;

б) проверить корректность нахождения центрального изображения посредством отслеживания динамики изменения диаметров и количества окружностей на смежных изображениях.

Далее оценивается площадь среза мозга на данном изображении. Для этого определяется контур максимальной длины и формы, соответствующей костной ткани черепной коробки.

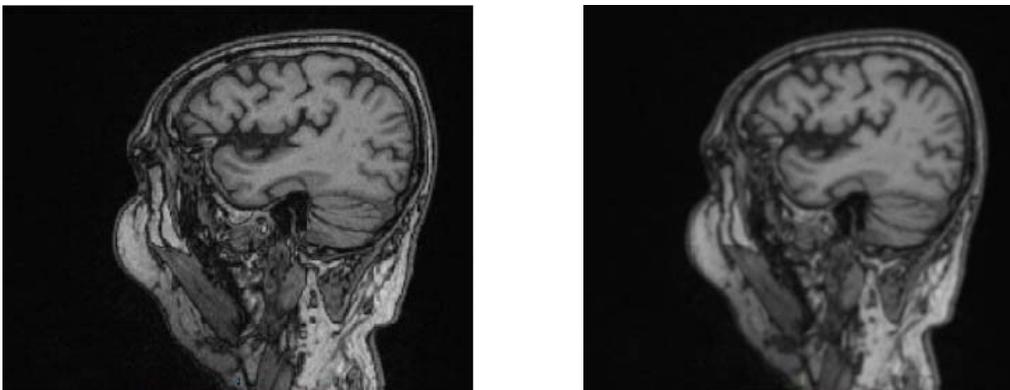


Рис. 3. Предварительная обработка изображений: дефокусировка функцией Гаусса

При его нахождении каждый контур описывается следующим набором параметров:

- длиной контура,
- площадью описывающего контур прямоугольника контура,
- непрерывности контура.

Площадь среза мозга на изображениях, на которых присутствуют глаза, используется далее для вычисления относительного объема гиппокампа и проверки факта его обнаружения.

На следующем шаге выполняется разбиение каждого изображения на отдельные прямоугольники с целью расчета локальных обобщенных характеристик каждой области. Данные характеристики далее используются для подтверждения обнаружения гиппокампа и смежных с ним структур [11, 12].

К обобщенным характеристикам относятся:

- спектр, измеренный по каждой локальной области,
- суммарные коэффициенты, определяющие относительную площадь белых, серых и черных пикселей,
- количество сегментов, также сформированных по белым, серым и черным пикселям.

Оценивается общий объем внутричерепной жидкости по всей площади каждого анализируемого изображения, что обеспечивает расчет косвенных параметров, необходимых для диагностики болезни Альцгеймера.

В процессе выполнения следующих процедур обработки производится сегментация всего изображения на отдельные непрерывные объекты, которые используются для поиска и подтверждения обнаружения ключевых структур мозга и окружающей гиппокамп внутримозговой жидкости.

Таким образом, на данном этапе выполнения алгоритма определены наборы данных, необходимые далее для окончательного подтверждения обнаружения гиппокампа и определения его границ. Заметим, что к данному шагу алгоритма все действия выполнялись по отдельности для каждого изображения, в результате накоплен набор параметров, необходимый для объединения и анализа данных в процессе перемещения по последовательности от изображения к изображению и оценки степени и градиента изменения каждого из параметров.

К таким параметрам, измерение которых выполняется в серии последовательных МР-изображений, относятся:

- изменение диаметра окружности, соответствующей глазу,
- изменение площади и периметра описанного вокруг мозга прямоугольника,
- изменение объема внутричерепной жидкости, окружающей гиппокамп,
- изменение формы ликворосодержащего пространства, окружающего гиппокамп справа на оптических срезах,
- ориентация гиппокампа в плоскости изображения.

Блоки алгоритма 33-35 направлены на отслеживание изменения указанных параметров. Данные процедуры обеспечивают решение следующих задач: подтверждение обнаружения гиппокампа и обеспечение анализа динамики изменения его формы и площади, а также ликворосодержащего пространства вокруг гиппокампа.

Рассмотрим подробнее подход, используемый для детектирования гиппокампа на отдельных изображениях. Введены следующие функции принадлежности:

- разность высот центра глаза и области предполагаемого гиппокампа определяется функцией принадлежности

$$\mu_{dh} = e^{-\frac{(V-a)^2}{2b^2}},$$

$a, b$  – параметры,  $a = 14, b = 9$  (Рис. 4).

- периметр описанного прямоугольника соответствует диапазону, определяемому функцией

$$\mu_{pr} = e^{-\frac{(V-a)^2}{2b^2}},$$

при  $a = 50, b = 20$  (Рис. 5).

- угол ориентации объекта, предположительно соответствующего гиппокампу, определяется функцией принадлежности

$$\mu_{ag} = 1 + e^{-a(m-b)^{-1}},$$

где  $ag = 10, a = 0,2, b = 80$  (Рис. 6).

Итоговая функция принадлежности равна

$$\mu_{hip} = \mu_{dh} \wedge \mu_{pr} \wedge \mu_{ag},$$

Вычисление функций принадлежности, определяющих подтверждение наличия гиппокампа на последовательностях изображений, аналогично рассмотренной функции  $\mu_{hip}$ .

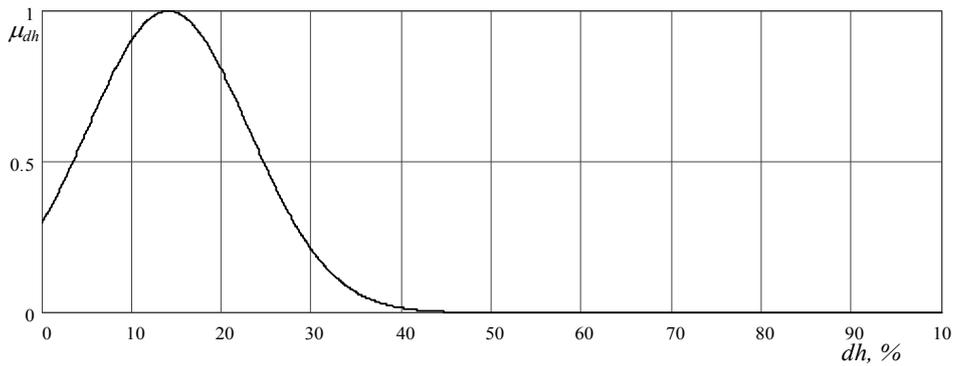


Рис. 4. Функция принадлежности «близость по высоте области глаза»

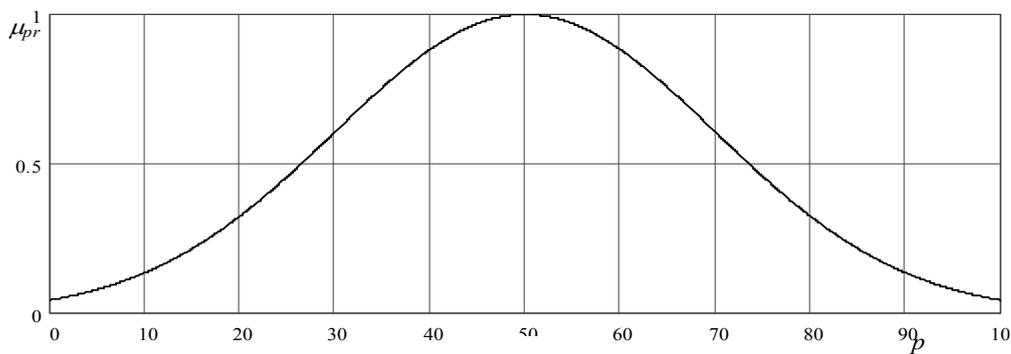


Рис. 5. Функция принадлежности «периметр»

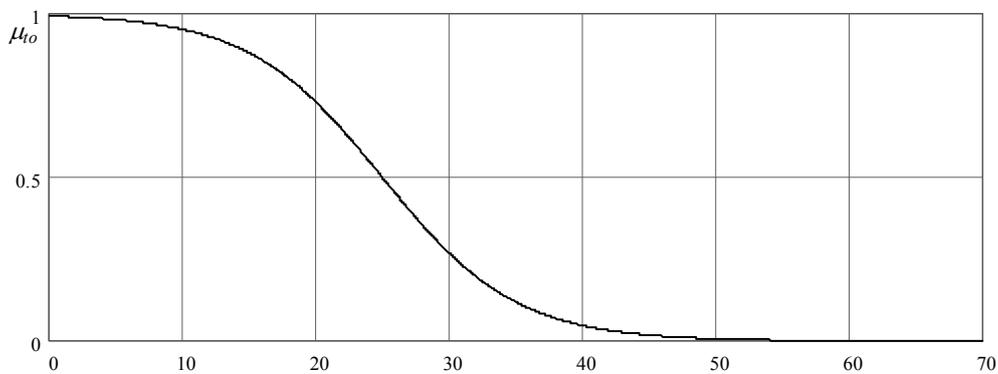


Рис. 6. Функция принадлежности терма «угол ориентации»

Далее приведем примеры обнаружения гиппокампа с использованием разработанного алгоритма – для здорового человека и для пациента с развитой степенью болезни Альцгеймера.

На Рис. 7 представлена область поиска гиппокампа после выполнения фильтрации и предварительного вычисления признаков в блоках 1-12 алгоритма.

Затем производится поиск области ликворосодержащего пространства, примыкающего, предположительно, к гиппокамп. Ориентацию

границ области вычисления рациональнее всего основывать на расположении глазницы (Рис. 8).

Далее выполняется скелетизация изображения для дальнейших вычислений (Рис. 9).

Финальным этапом вычисления расположения ликворосодержащего пространства является поиск замкнутых областей комбинацией цепного алгоритма с преобразованием Хафа. Определяется участок ликворосодержащего пространства вблизи гиппокампа как наибольшая замкнутая область в данной окрестности (Рис. 10).

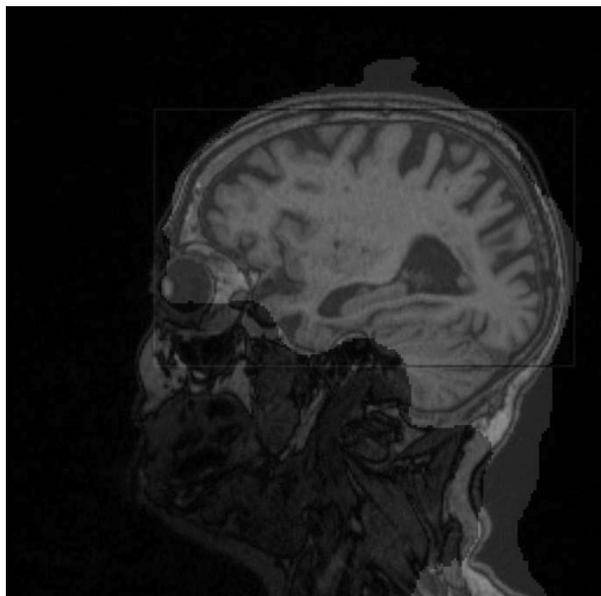


Рис. 7. Область поиска на каждом изображении

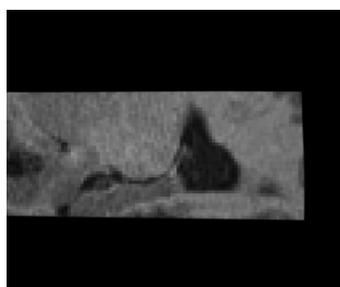
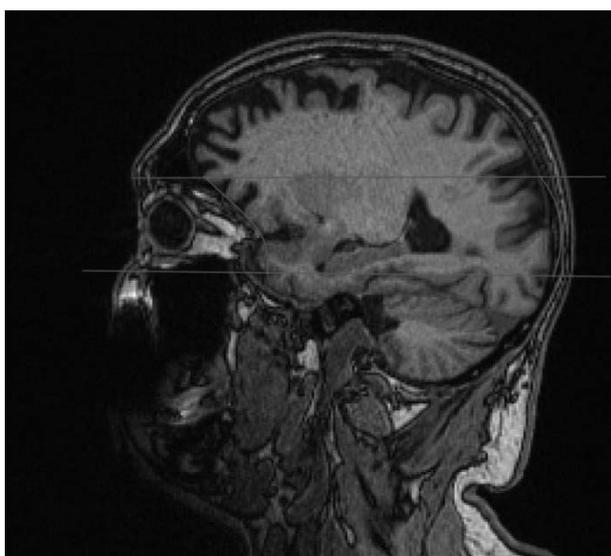


Рис. 8. Уточненное положение области предполагаемого гиппокампа

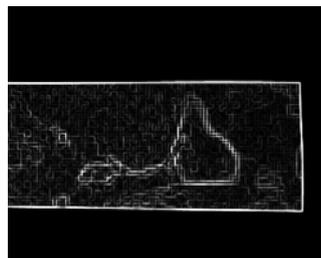


Рис. 9. Скелетизированное изображение

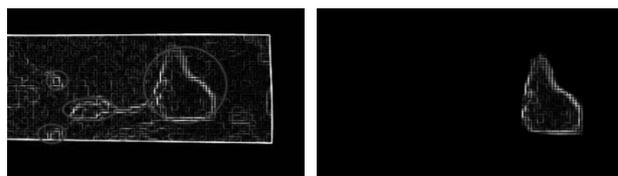


Рис. 10. Обнаружение области жидкости вокруг гиппокампа

Определяем необходимый участок с учетом наибольшего размера замкнутой области.

На Рис. 11 представлен пример обработки данных другого пациента с другой формой ликворосодержащего пространства вблизи гиппокампа.

Далее оценивается спектр области слева от найденной области внутричерепной жидкости и проверяется его соответствие спектру гиппокампа. Также вычисляются предполагаемые границы гиппокампа на основе выделения контуров. В результаты данных операций получены серии описаний предполагаемого гиппокампа на последовательностях изображениях,

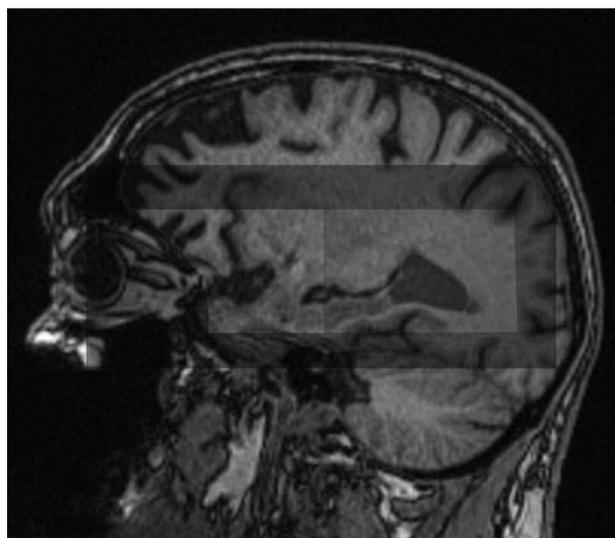


Рис. 11. Локализованная область жидкости вблизи гиппокампа

на основе которых в блоках 29-35 алгоритма окончательно принимается решение об обнаружении посредством анализа плавности изменения формы и границ гиппокампа.

Проведенные экспериментальные исследования на 20 здоровых пациентах и 12 больных с различной степенью развития болезни Альцгеймера показали следующее: область гиппокампа достоверно обнаружена у всех здоровых людей и 11 пациентов с болезнью Альцгеймера. У одного больного пациента гиппокамп не был обнаружен согласно разработанному алгоритму вследствие значительного отличия формы гиппокампа от сформированного эталонного описания. При этом не было выявлено ложного обнаружения гиппокампа.

Таким образом, предложен алгоритм выделения гиппокампа на серии магнитно-резонансных изображений головного мозга, обеспечивающий достоверное определение данной структуры для решения последующих задач измерения его объема и других заданных геометрических параметров для автоматизации процесса диагностики когнитивных нарушений и болезни Альцгеймера.

## Литература

1. Яхно Н.Н., Захаров В.В., Локшина А.Б., Коберская Н.Н.: Деменции. Руководство для врачей. - Москва, 2011. - 243.
2. Afshan N., Qureshi S., Syed Mujtiba Hussain, Comparative study of tumor detection algorithms // Medical Imaging m-Health and Emerging Communication Systems 2014 International Conference on, pp. 251-256, 2014.
3. Hunnur S., Raut A., Kulkarni S., "Implementation of image processing for detection of brain tumors", Computing Methodologies and Communication (ICCMC) 2017 International Conference on, pp. 717-722, 2017.
4. Kapoor L., Thakur S., "A survey on brain tumor detection using image processing techniques", Cloud Computing Data Science & Engineering - Confluence 2017 7th International Conference on, pp. 582-585, 2017.
5. Udupa J., Saha P., "Fuzzy Connectedness and Image Segmentation", Proceedings of the IEEE, vol. 91, 2003.
6. Gridin, V.N. Automatic analysis of the quantitative characteristics of the hippocampus in magnetic resonance imaging of the brain for the diagnosis of possible Alzheimer's disease / V.N. Gridin, M.I. Trufanov, V.I. Solodovnikov, V.S. Panischev, V.E. Sinitsyn, N. N. Yakhno // Radiology-Practice, 2017. - №6. - From. 42-67.
7. Chupin M., Gerardin E., Cuingnet R. et al. Fully automatic hippocampus segmentation and classification in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment applied on data from ADNI. Hippocampus 2009; 19:579-87.
8. Singh A., Singh K., "A Study of Image Segmentation Algorithms for Different Types of Images", International Journal of Computer Science Issues, vol. 7, Issue 5, pp 414-417, 2010.
9. Mustaqeem A., Ali Javed, Fatima T., "An Efficient Brain Tumor Detection Algorithm Using Watershed & Threshold Based Segmentation", I.J. Image, Graphics and Signal Processing, vol. 10, no. 5, pp 34-39, 2012.
10. Mankikar S.S., "A Novel Hybrid Approach Using Kmeans Clustering and Threshold filter For Brain Tumor Detection", International Journal of Computer Trends and Technology, vol. 4, no.3, pp 206-209, 2013.
11. Ali S.M., Loay Kadom Abood, and Rabab Saadon Abdoon, "Brain Tumor Extraction in MRI images using Clustering and Morphological Operations Techniques", International Journal of Geographical Information System Application.
12. Cuingnet R., Gerardin E., Tessieras J. et al. Automatic classification of patients with Alzheimer's disease from structural MRI: A comparison of ten methods using the ADNI database // NeuroImage. 2011. №56. p. 766-781.

**Гридин Владимир Николаевич.** Центр информационных технологий в проектировании РАН г. Одинцово МО, Россия. Научный руководитель, доктор технических наук, профессор. Количество печатных работ: более 335 (в т. ч. 9 монографий). Область научных интересов: САД-системы, информационные технологии. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Яхно Николай Николаевич.** Центр информационных технологий в проектировании РАН г. Одинцово МО, Россия. Главный научный сотрудник. Первый МГМУ им. И.М. Сеченова г. Москва, Россия. Доктор медицинских наук, профессор, академик РАН. Количество печатных работ: 533. (в т. ч. 10 монографий). Область научных интересов: неврология, нейропсихология. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Синицын Валентин Евгеньевич.** Центр информационных технологий в проектировании РАН г. Одинцово МО, Россия. Главный научный сотрудник. Первый МГМУ им. И.М. Сеченова г. Москва, Россия, профессор, доктор медицинских наук. Количество печатных работ: более 400. (в т. ч. 13 монографий, 2 учебника). Область научных интересов: наука и технологии. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Перепелов Всеволод Андреевич.** Центр информационных технологий в проектировании РАН г. Одинцово МО, Россия. Инженер-исследователь. Первый МГМУ им. И.М. Сеченова г. Москва, Россия. Количество печатных работ: более 15 публикаций. Область научных интересов: неврология, нейровизуализация, центральная нервная система, магнитная резонансная томография. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Труфанов Максим Игоревич.** Центр информационных технологий в проектировании РАН г. Одинцово МО, Россия. Заведующий лабораторией, кандидат технических наук. Количество печатных работ: более 196 (в т. ч. 1 монография). Область научных интересов: компьютерное зрение, обработка и распознавание изображения. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Виноградов Владимир Александрович.** Центр информационных технологий в проектировании РАН г. Одинцово МО, Россия. Младший научный сотрудник. Количество печатных работ: 1 публикация. Область научных интересов: компьютерное зрение, обработка и распознавание изображения. E-mail: info@ditc.ras.ru

### **Algorithm for searching the hippocampus on a series of magnetic resonance images of the brain in the diagnosis of Alzheimer's disease**

V.N. Gridin<sup>I</sup>, N.N. Yakhno<sup>I,II</sup>, V.E. Sinitsyn<sup>I,II</sup>, V.A. Perepelov<sup>I,II</sup>, M.I. Trufanov<sup>I</sup>, V.A. Vinogradov<sup>I</sup>

<sup>I</sup> Federal state budgetary institution of science Centre of information technologies in the design of the Russian Academy of Sciences

<sup>II</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

The article deals with the development of the algorithm for detecting the hippocampus, which is necessary to achieve the goal the task. The algorithm is based on the mathematical foundations of decision-making on the basis of fuzzy logic when using as the initial data the results of preliminary image processing and the results of object recognition based on their reference description. The novelty of the algorithm is the use of procedures for selecting key images for calculating the parameters of preliminary image processing, using the spectral characteristics of individual regions of the brain on a two-dimensional image in the sagittal projection to clarify the coordinates of the hippocampus, deciding whether a hippocampus is based on fuzzy logic (taking into account direct and indirect signs). These innovations provide software implementation of the algorithm for evaluating the characteristics of the hippocampus in an automatic mode, which will positively affect the quality and speed of diagnosis of the disease.

**Keywords:** recognition, hippocampus, computer science, image processing, Alzheimer's disease

DOI 10.14357/20718632180403

#### **References**

1. Yakhno N.N., Zakharov V.V., Lokshina A.B., Koberskaya N.N.: Dementia. A guide for doctors. - Moscow, 2011. – 243.
2. Afshan N., Qureshi S., Syed Mujtiba Hussain, Comparative study of tumor detection algorithms, Medical Imaging, 2014 International Conference on, pp. 251-256, 2014.
3. Hunnur S., Raut A., Kulkarni S., "Implementation of image processing for detection of brain tumors", Computing Methodologies and Communication (ICCMC) 2017 International Conference on, pp. 717-722, 2017.
4. Kapoor L., Thakur S., "A survey on brain tumor detection using image processing techniques", Cloud Computing Data Science & Engineering - Confluence 2017 7th International Conference on, pp. 582-585, 2017.
5. Udupa J., Saha P., "Fuzzy Connectedness and Image Segmentation", Proceedings of the IEEE, vol. 91, 2003.
6. Gridin V.N. Automatic analysis of the quantitative characteristics of the hippocampus in the magnetic resonance imaging of the brain for the diagnosis of possible Alzheimer's disease / V.N. Gridin, M. I. Trufanov, V.I Solodovnikov, V.S Panischev, V.E. Sinitsyn, N. N. Yakhno // Radiology-Practice, 2017. - №6. - from. 42-67.
7. Chupin M, Gerardin E, Cuingnet R. et al. Fully automatic hippocampus segmentation and classification in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment applied on data from ADNI. Hippocampus 2009; 19: 579-87.
8. A. Singh, K. Singh, "A Study of Image Segmentation Algorithms for Different Types of Images", International Journal of Computer Science Issues, vol. 7, Issue 5, pp 414-417, 2010.
9. Mustaqeem A., Ali Javed, Fatima T., "An Efficient Brain Tumor Detection Algorithm Using Watershed & Thresholding Based Segmentation", I.J. Image, Graphics and Signal Processing, vol. 10, no. 5, pp 34-39, 2012.
10. Mankikar S.S., "A Novel Hybrid Approach Using Kmeans Clustering and Threshold Filter For Brain Tumor Detection", International Journal of Computer Trends and Technology, vol. 4, no.3, pp 206-209, 2013.
11. S.M. Ali, Loay Kadom Abood, and Rabab Saadon Abdoon, "Brain Tumor Extraction in MRI Images using Clustering and Morphological Operations Techniques", International Journal of Geographical Information System Application.
12. Cuingnet R., Gerardin E., Tessieras J. et al. Automatic classification of patients with Alzheimer's disease from structural MRI: A comparison of ten methods using the ADNI database // NeuroImage. 2011. №56. p. 766-781.

**Gridin V. N.** Federal state budgetary institution of science Centre of information technologies in the design of the Russian Academy of Sciences Odintsovo MO, Russia. Scientific director, doctor of technical sciences, professor. The number of publications: more than 335 (including 9 monographs). Area of scientific interests: CAD-system, information technology. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Yakhno N. N.** Federal state budgetary institution of science Centre of information technologies in the design of the Russian Academy of Sciences Odintsovo MO, Russia. Chief Researcher. Sechenov First Moscow State Medical University Moscow, Russia. Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences. Number of publications: 533. (including 10 monographs). Area of scientific interests: neurology, neuropsychology. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Sinitsyn V. E.** Federal state budgetary institution of science Centre of information technologies in the design of the Russian Academy of Sciences Odintsovo MO, Russia. Chief Researcher. Sechenov First Moscow State Medical University Moscow, Russia, Professor, MD The number of printed works: more than 400. (including 13 monographs, 2 textbooks). Area of scientific interests: science and technology. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Perepilov V. A.** Federal state budgetary institution of science Centre of information technologies in the design of the Russian Academy of Sciences Odintsovo MO, Russia. Engineer-researcher. Sechenov First Moscow State Medical University Moscow, Russia. Number of publications: more than 15 publications. Area of scientific interests: neurology, neuroimaging, central nervous system, magnetic resonance imaging. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Trufanov M. I.** Federal state budgetary institution of science Centre of information technologies in the design of the Russian Academy of Sciences Odintsovo MO, Russia. Head of the Laboratory, Candidate of Technical Sciences. The number of printed works: more than 196 (including 1 monograph). Scientific interests: computer vision, image processing and recognition. E-mail: info@ditc.ras.ru

**Vinogradov V. A.** Federal state budgetary institution of science Centre of information technologies in the design of the Russian Academy of Sciences Odintsovo MO, Russia. Junior researcher. Number of publications: 1 publication. Scientific interests: computer vision, image processing and recognition. E-mail: info@ditc.ras.ru