М.Г. КУЗЬМИНА, Ю.Т. КАГАНОВ, Ю.Е.ГАПАНЮК,

А.В. ПОДОПРОСВЕТОВ

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва

Институт прикладной математики им.М.В.Келддыша РАН, Москва

[yurijkaganov@gmail.com](mailto:yurijkaganov@gmail.com); mg.kuzmina@gmail.com;

[gapyu@bmstu.ru](mailto:gapyu@bmstu.ru/), [llecxix@gmail.com](mailto:llecxix@gmail.com)

МОДЕЛЬ ОСЦИЛЛЯТОРНОЙ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Ключевые слова:** *бионические модели, многоагентные системы, метаграфовые модели, обработка гиперспектральных изображений, автоэнкодеры и осцилляторные нейронные сети.*

**Аннотация.** Рассмотрены бионические модели распознавания и сегментации гиперспектральных изображений на основе многоагентного подхода с использованием нейронных сетей типа автоэнкодеров, а также осцилляторных нейронных сетей. Было показано, что применение осцилляторных нейронных сетей в контексте многоагентного подхода и использования теории метаграфов позволяет значительно расширить возможности применения систем анализа гиперспектральных изображений. Метаграфовый подход может быть использован как средство созданий иерархической и холархической концепции обработки информации сложными системами. Этот подход согласуется с современными концепциями обработки информации мозгом.

**1. Бионические модели многоагентных систем (multiagent systems, МAS).**  **Метаграфовые модели для анализа архитектуры связей сложных искусственных нейронных сетей**.

Многоагентные системы (MAS) в настоящее время становятся мощным инструментом разработки современных алгоритмов обработки информации на основе бионического подхода. Они позволяют значительно продвинуться в понимании процессов обработки информации биологическим системами. С другой стороны, они оказываются чрезвычайно эффективными для решения практических задач [1]. Одной из таких, достаточно сложных задач, являются задачи обработки и распознавания гиперспектральных изображений, получаемых с помощью оптических систем космических аппаратов [2]. Особенность многоагентного подхода заключается в возможности существенно параллельной обработке информации и большой адаптивной способности алгоритмов. Реализация таких алгоритмов возможна на основе широкого спектра различных подходов с использованием знаний в области обработки информации зрительной системы биологических объектов. В этом плане перспективным представляется применение для анализа гиперспектральных изображений использование различных методов, основанных на нейросетевых технологиях и технологии метаграфового подхода. Метаграфоовый подход позволяет строить сложные иерархические и холархические структуры обработки информации. Такой подход вполне соответствует современным представлениям обработки информации зрительными системами биологических объектов [3, 4]. В данной работе рассматривается комплексное сочетание многоагентного и метаграфового подходов, а также использование традиционных искусственных неронных сетей на основе автоэнкодеров и осцилляторных нейронных сетей как дальнейшее развитие бионического подхода в распознавании сложных объектов.

**2. Метод яркостной сегментации изображений, основанный на управляемой синхронизации в осцилляторной многоагентной системе**

Развитый в [2, 4 - 6] метод, основанный на управляемой синхронизации в осцилляторной многоагентной системе (OMAS), относится к вычислительным методам, использующим идеи и модели распределенного (децентрализованного) искусственного интеллекта. Метод может быть также рассматриваться как осцилляторно-сетевой, поскольку сами MAS-модели нередко интерпретируются как сложные искусственные нейронные сети.

Осцилляторная MAS-модель (OMAS), лежащая в основе метода, может быть отнесена в бионическим (биологически инспирированным) моделям. Осцилляторы OMAS расположены в узлах двумерной пространственной решетки, соответствующей пиксельному массиву анализируемого изображения (так, что каждому пикселю отвечает один осциллятор). Динамика одиночного осциллятора OMAS моделирует динамику нейронного осциллятора первичной зрительной коры мозга, образованного парой связанных нейронов (возбуждающего и тормозного). Осциллятор OMAS является осциллятором предельного цикла с бифуркационной динамикой: либо предельный цикл (устойчивые колебания конечной постоянной амплитуды), либо устойчивый фокус (состояние покоя). Амплитуда автоколебаний (радиус предельного цикла) монотонно зависит от яркости отвечающего осциллятору пикселя изображения, а также – от направления максимального градиента яркости пикселя (что отражает характер отклика нейронов зрительной коры мозга на световое возбуждение).

В правиле связывания осцилляторов OMAS реализован принцип динамического связывания по яркости. Это приводит к самоорганизованному возникновению кластерной синхронизации в OMAS. Синхронизованные ансамбли OMAS (кластеры) соответствуют фрагментам изображения различного уровня яркости.

Процесс яркостной сегментации изображения состоит из двух шагов:

1) «настройки» динамики осцилляторов значениями яркостей пикселей;

2) сегментации изображения посредством релаксации OMAS в состояние кластерной синхронизации, соответствующей разложению изображения на желаемое множество яркостных фрагментов.

При осуществлении яркостной сегментации изображения OMAS-методом используется процесс адаптпции взаимодействия осцилляторов OMAS (постепенное увеличение силы взаимодействия). Это позволяет произвести последовательное выделение всех фрагментов изображения, начиная с фрагмента наибольшей яркости, и приводит к увеличению точности решения задачи яркостной сегментации.

Метод также допускает решение следующих задач:

a) простой способ выделения фрагментов в заданном интервале яркостей (селективная сегментация);

b) решение задачи поочередного выделения пространственно разделенных фрагментов зрительной сцены.

К достоинствам развитого осцилляторного метода обработки можно отнести:

параллельность и распределенность алгоритма;



адаптивность алгоритма;



простой способ исключения ненужной информации;



**3. О возможности распространения OMAS-метода на задачи обработки гиперспектральных изображений**

Трудности анализа гиперспектральных изображений связаны с двумя обстоятельствами: 1) многопиксельными массивами гиперспектральных данных, определяющих изображение к каждом спектральном канале; 2) большим числом спектральных каналов. Гиперспектральные изображения обычно содержат десятки тысяч пикселей и сотни спектральных каналов. Тем самым, гиперспектральные данные, определяющие изображения, относятся к классу больших данных. Поэтому при обработке гиперспектральных изображений возникает необходимость в предобработке - так называемом сжатии данных - предварительном получении определяющих массивов данных меньшего размера, в которых исключены избыточная информации и скрытые корреляции.

Эффективными и неоднократно опробованными методами снижения размерности массивов больших данных являются нейросетевые подходы, основанные на построении моделей многослойных сетей-автоэнкродеров, как обычных, (SAE, stacked autoencoders), так и сверточных [2, 7]. Многослойные автоэнкодеры являются многослойными персептронами специальной симметричной архитектуры, содержащие несколько внутренних слоев уменьшающегося размера и слой «бутылочная горловина» в середине сети. В результате работы SAE-сети в горловом слое появляется вектор, компонентами которого являются так называемые «признаки» – обобщенные характеристики изображения, извлеченные из исходных гиперспектральных данных, определяющие изображение в пространстве меньшей размерности.

Распространение развитого OMAS-метода на задачи обработки гиперспектральных изображений потребует включения предварительного сжатия исходных гиперспектральных данных.

Модели обыкновенных автоэнкодеров (SAE), позволяющие осуществлять сжатие гиперспектральных данных на основе использования чисто спектральной информации, содержащейся в гиперспектральных данных, были построены в работе [5, 8].

Были построены модели трехслойных, пятислойных и семислойных автоэнкодеров и реализованы в облачной инфраструктуре Google Colaboratory на языке Python 3.10 в формате Jupiter notebook с использованием библиотек TensorFlow, Math, Numpy и библиотеки Deephyp из работы [8]. Возможности моделей изучены на примерах решения задачи сегментации для изображений, содержащихся в одной из известных открытых баз гиперспектральных изображений, (Pavia University). Даны оценки для средней ошибки сжатия и точности сегментации [5]. Была также построена модель сверточного автоэнкодера, на основе которой удалось повторить результаты, полученные в [8].

**Литература**

1. В.Б.Тарасов. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002.
2. М.Г.Кузьмина, А.В.Подопросветов, Использование сетей-автоэнкодеров для сокращения размерности массивов больших данных, определяющих гиперспектральные изображения. Труды конференции «Бионика – 60 лет. Итоги и перспективы» Сборник статей Первой Международно-практической конференции. 17-19 декабря 2021 года, г. Москва.
3. Ю.Т. Каганов, Ю.Е. Гапанюк. Нелинейная динамика и происхождение когнитивных процессов интеллектуальных систем, Труды конференции «Бионика – 60 лет. Итоги и перспективы» Сборник статей Первой Международно-практической конференции. 17-19 декабря 2021 года, г. Москва.

4. M.Kuzmina, E.Manykin, I.Surina, Oscillatory network with self-organized dynamical connections for synchronization-besed image segmentation. BioSystems, 76, (2004), pp. 43-53.

5. Е.С.Гричук, М.Г.Кузьмина, Э.А.Маныкин, Выделение объектов в зрительной сцене осцилляторно-сетевым методом. Нейроинформатика-2009, (11 Всероссийская научно-техническая конференция), Сборник науч. трудов, часть 2, стр. 254 - 261, Москва, 2009.

6. M.Kuzmina, E.Manykin, E.Grichuk, Oscillatory Neural Networks in problems of parallel information processing. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2014 (printed in Germany).

7. M.A Kramer. Nonlinear principal component analysis using autoassociative neural networks. AIChE Journal, vol. 37, no. 2, pp. 233- 243, 1991.

8. L.Windrim, .Ramakrishnan, A.Melkumyan, R.J.Murphy, A.Chlingaryan. Unsupervised feature-learning for hyperspectral data with autoencoders. Remote Sens. 2019, 11, 864; https://doi.org/10.3390/rs11070864