

УДК 004.946

АССОЦИАТИВНЫЙ СЛОЙ ВИРТУАЛЬНОГО АДАПТАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Дюпин В.Н.

*Саровский физико-технический институт, филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Саров, e-mail: rehcraser@mail.ru*

В статье рассматривается технология построения ассоциативного слоя для систем виртуального адаптационного пространства. Системы виртуального адаптационного пространства позволяют погрузить объекты окружающего мира в виртуальное пространство для последующего взаимодействия субъектов виртуальной реальности с виртуальным пространством через каналы восприятия субъекта. Отличительная особенность виртуального адаптационного пространства заключается в балансировке нагрузки на каналы восприятия субъекта, что позволяет создавать тифлотехнические приборы для людей с нарушением каналов восприятия. Метод построения ассоциативного слоя построен на базе метода классификации объектов виртуального адаптационного пространства, использующий эффект оптического параллакса и метод экструзии объектов. Метод построения объекта виртуальной реальности заключается в выделении пары изображений окружающего пространства, разбиении изображения на фрагменты по ширине и по высоте и последующей экструзии фрагментов двумерного изображения, считанного с мультимедийных датчиков. Для повышения качества выделения используется метод подавления шумов на границе объектов, выполняется трансформация цветового пространства из формата RGB в формат YCbCr, основанного на градации яркости цвета. Ассоциативный слой виртуального адаптационного пространства базируется на картах ассоциаций, строящихся по полярной карте наблюдаемого объекта. Полярная карта наблюдаемого объекта делится на сектора, и для каждого из секторов вычисляется среднее расстояние относительно наблюдаемого объекта. По полученной информации строится гистограмма распределения пространственных характеристик, являющихся ассоциативными признаками объекта. Из полученной гистограммы извлекаются статистические характеристики (в частности, величина среднеквадратического отклонения). Известно, что при изменении точки наблюдения гистограмма ассоциативных признаков может меняться, но совокупная ассоциативная характеристика изменяется незначительно.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, виртуальное адаптационное пространство, компьютерное зрение, классификация объектов, тифлотехнические средства

ASSOCIATIVE LAYER OF VIRTUAL ADAPTATION SPACE

Dyupin V.N.

*Sarov Institute of Physics and Technology, Branch of the National Research
Nuclear University MEPhI, Sarov, e-mail: rehcraser@mail.ru*

The article discusses the technology of building an associative layer for systems of virtual adaptation space. Systems of virtual adaptation space allow immersing objects of the surrounding world into virtual space for the subsequent interaction of virtual reality subjects with virtual space through the channels of the subject's perception. A distinctive feature of the virtual adaptation space lies in balancing the load on the channels of perception of the subject, which makes it possible to create typhlotechanical devices for people with impaired perception channels. The method for constructing an associative layer is based on the method of classifying objects of the virtual adaptation space, using the effect of optical parallax and the method of extrusion of objects. The method of constructing a virtual reality object is to select a pair of images of the surrounding space, divide the image into fragments in width and height, and then extrude fragments of a two-dimensional image read from multimedia sensors. To improve the quality of the selection, the method of suppression of noise at the border of objects is used, the transformation of the color space from the RGB format to the YCbCr format is performed, based on the gradation of the color brightness. The associative layer of the virtual adaptation space is based on association maps built on the polar map of the observed object. The polar map of the observed object is divided into sectors and for each of the sectors the average distance relative to the observed object is calculated. Based on the information received, a histogram of the distribution of spatial characteristics, which are associative features of the object, is constructed. Statistical characteristics are extracted from the resulting histogram (in particular, the value of the standard deviation). It is known that when the observation point changes, the histogram of associative features may change, but the total associative characteristic changes insignificantly.

Keywords: virtual reality, augmented reality, virtual adaptation space, computer vision, classification of objects, typhlotechanical means

В настоящее время в научном сообществе возрастает интерес к автоматизации когнитивной деятельности человека и созданию нейроморфных систем (систем, функционирующих по принципам человеческого мозга). Для создания подобных систем была предложена новая архитектура вычислительных средств, основанная на создании нейро-

морфных процессоров, а также разработана федеральная научно-техническая программа развития нейроморфных систем «Мозг: здоровье, интеллект, инновации». Академики РАН предложили 2 пути развития нейроморфных систем: «большой интеллект», позволяющий моделировать когнитивную деятельность человеческого мозга, и направ-

ление машинного обучения для создания малых автономных самообучающихся систем. Основными проблемами на пути развития нейроморфных систем стали:

- энергоэкономичность;
- масштабируемость;
- и взаимодействие с асинхронной динамической средой [1].

Особый интерес в развитии нейроморфных систем занимает проблема создания гибридных систем, которые получаются синтезом малых самообучающихся систем. При проектировании нейроморфных систем инженеры могут прибегать к операции делегирования части функций нейроморфных процессоров естественным нейронным процессорам (центральной нервной системе) биологических объектов с целью снижения затрат на развитие гибридных систем. В частности, для решения оптимизационных задач балансировки нагрузки, не требующих интенсивной нагрузки на вычислительную систему, функциональное ядро гибридных систем способно передать часть задач обработки данных естественным нейронным объектам, которые выполняют обработку данных за счет своих ресурсов и стратегий энергоэкономичности и масштабируемости. Полученные результаты вычислений будут переданы нейроморфным системам для последующей обработки. В таком понимании основная нагрузка гибридной системы ложится на организацию взаимодействия с асинхронной динамической средой. Со стороны естественных нейронных систем такое взаимодействие осуществляется через каналы восприятия биологических объектов, а повышенная энергоэкономичность достигается правильной стратегией балансировки нагрузки на каналы восприятия.

Задача балансировки вычислительной нагрузки может быть реализована системами виртуального адаптационного пространства. Под виртуальным адаптационным пространством (ВАП) следует понимать систему воспринимаемой смешанной реальности, созданной путем введения в каналы восприятия субъекта виртуальной реальности сенсорных данных для компенсации поврежденных каналов восприятия [2].

Мозг биологического объекта можно рассматривать как нейронный процессор, обрабатывающий сигналы, которые поступают с рецепторов каналов восприятия, и формирующий картину окружающего мира [3]. Следует отметить, что мозг биологического объекта не проверяет достоверность восприятия приходящего сигнала, что позволяет имитировать сигналы рецепторов и формировать виртуальное

восприятие объектов, которое накладывается на существующую реальность. Такой феномен используется в кибернетических устройствах. Например, кибернетический глаз Argus II создает гальванический разряд на поверхности сетчатки глаза субъекта виртуальной реальности, который индуцирует импульс на поверхности сетчатки глаза и формирует оптическое восприятие светового пятна [4]. Альтернативным подходом реализации кибернетического зрения является технология создания виртуального адаптационного пространства, позволяющего создать виртуальное пространство, в которое погружены цифровые копии объектов окружающего мира, взаимодействие с которыми осуществляет субъект ВАП через каналы восприятия [5].

Известно, что мозг биологического объекта строит картину окружающего мира по совокупному восприятию информации, считанной с каналов восприятия биологического объекта. Причем в процессе распознавания окружающих объектов мозг биологических объектов пытается выделить характерные признаки окружающих объектов, по которым мозг может быстро выделить контуры объектов и отделить одни объекты от других [6]. Таким образом, вычислительные системы способны имитировать когнитивную деятельность мозга биологических объектов по распознаванию образов объектов путем построения и анализа ассоциативной карты характерных признаков объектов.

В статье представлен пример погружения суперпозиции объектов физического пространства в виртуальное адаптационное пространство и метод классификации объектов пространства по их ассоциативным признакам.

Цель исследования заключается в развитии метода классификации объектов виртуального адаптационного пространства путем интеграции карты ассоциаций объектов.

Задачи исследования:

- построение виртуального адаптационного пространства и выделение объектов виртуального пространства;
- построение карты ассоциаций объектов виртуального адаптационного пространства;
- классификация объектов виртуального адаптационного пространства с учетом карты ассоциаций объектов.

Материалы и методы исследования

На начальном этапе датчики виртуального адаптационного пространства собирают информацию об объектах, расположенных вокруг субъекта виртуального пространства. С помощью мультимедийных

датчиков система виртуального адаптационного пространства извлекает фотоснимки окружающей местности для построения топологии виртуального пространства.

На рис. 1 представлены фотоматериалы фрагмента сельской инфраструктуры, собранные со стереопары, которая входит в состав мультимедийных датчиков системы виртуального адаптационного пространства. Стереопара состоит из пары видеокамер, которая используется для получения серии синхронных фотоснимков наблюдаемого объекта с разных точек наблюдения.

В табл. 1 приведен список объектов сцены, погружаемых в виртуальное адаптационное пространство.

Таблица 1
Описание объектов сцены

№	Объект	Положение
1	Дерево	Центр сцены
2	Кустарники	Левый край сцены
3	Стена теплицы	Левый край сцены
4	Забор	Правый край сцены
5	Листва	Верхний и нижний края сцены
6	Травяной покров	Нижний край сцены

Согласно методу классификации объектов ВАП [5] для погружения объектов в виртуальное пространство производится предварительная обработка изображений. В ходе предварительной обработки изображение рассматривается как двумерный массив пикселей в цветовом пространстве RGB и описывается картежом из 3 элемен-

тов (r, g, b), где r, g, b – хранят значения интенсивности красного, зеленого и синего компонента цвета пикселя изображения. В цифровых устройствах под каждый из компонентов цвета выделяют 1 байт, соответственно, значения r, g, b варьируются от 0 до 255. Предварительная обработка изображения заключается в преобразовании цветового пространства RGB в цветовое пространство YCbCr, состоящее из трех компонент [7]:

- Y – интенсивность цвета пикселя;
- Cb – светимость синего цвета пикселя;
- Cr – светимость красного цвета пикселя.

Для построения виртуального адаптационного пространства используется обобщенная информация о цвете пикселей информации, получающаяся проекцией цветового пространства YCbCr на ось Y для формирования матрицы полутонов исходного изображения (grayscale). Компонента Y вычисляется по формуле от трех аргументов $f(R, G, B)$.

$$Y = f(R, G, B) = 0.299R + 0.587G + 0.114B. (1)$$

Согласно методу классификации объектов виртуального адаптационного пространства цветовая палитра преобразованного изображения равномерно разбивается по интервалам $[Y_i, Y_{i+1}]$.

$$Y_i = \frac{i * Y_{\max}}{N_b}, i \in \overline{0, N_b}, (2)$$

где Y_{\max} – максимальное значение интенсивности пикселей матрицы полутонов изображения, N_b – константа, хранящая общее количество интервалов.



Рис. 1. Фотоснимки левой и правой части сцены объектов



Рис. 2. Преобразование исходного изображения (слева – результат фильтра *grayscale*, в центре – результат разбиения изображения на 3 интервала, справа – 4 интервала)

На рис. 2 представлен результат преобразования исходного изображения.

При использовании малого количества интервалов происходит сглаживание фрагментов изображения путем объединения однотонных объектов в единую область. Таким образом, объекты с близкими значениями оттенка серого цвета ассоциируются как единое целое. При увеличении количества интервалов на шкале цветовой палитры увеличивается детализация объектов изображения, меняется текстура объектов, увеличивается порог сегрегации связанных объектов сцены.

Известно, что при решении задачи распознавания окружающих объектов мозг биологических объектов использует информацию об обобщенных свойствах форм окружающих объектов, собранных на протяжении жизни биологического объекта. При этом известны многочисленные оптические иллюзии, возникающие при распознавании суперпозиции объектов. Например, мозг биологического объекта способен воспринимать по-разному размер объекта в суперпозиции этого объекта с более мелкими объектами (эффект лунной иллюзии – восприятия более крупного размера лунного диска, вызванного пространственным расположением диска Луны в близком расположении линии горизонта и суперпозиции мелких объектов на линии горизонта). Также мозг биологического объекта способен по-разному интерпретировать насыщенность цвета однотонных объектов в зависимости от контекста окружающих объектов (иллюзия Эдварда Адельсона). Таким образом, суперпозиция окружающих объектов позволяет подчеркнуть характерные черты наблюдаемого объекта.

Для вычисления характерной величины окружающих объектов по отношению к наблюдаемому объекту система виртуального

адапционного пространства использует карту ассоциаций объекта. В состав карты ассоциации объекта входит информация об окружающих объектах и их характерных черт (например, расстояние между объектами или цвет окружающих объектов).

На рис. 3 показан пример построения неориентированного графа взаимосвязей между стволом дерева (выделенного красным) и центрами окружающих объектов (выделены синими крестами). Синими линиями отмечены маршруты между наблюдаемым объектом и окружающими объектами. Зеленым цветом обозначена граница наблюдаемого объекта виртуального адапционного пространства (ствола дерева). Светло-зеленым прямоугольником отмечена габаритная коробка наблюдаемого объекта.

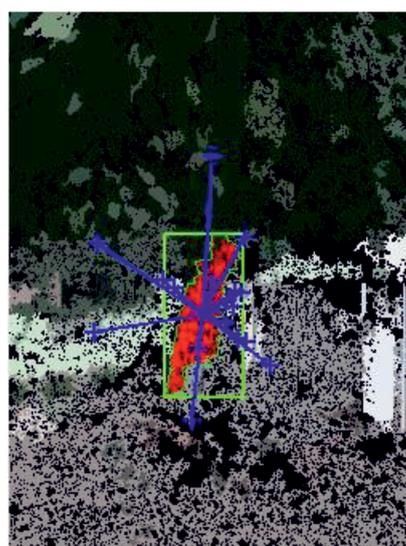


Рис. 3. Результат построения взаимосвязей между целевым объектом (красным) и окружающими объектами

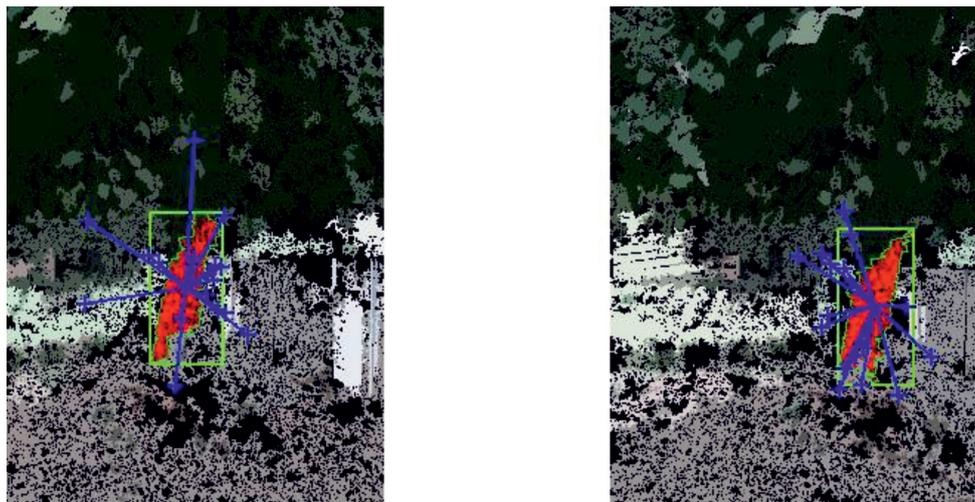


Рис. 4. Результат построения графа взаимосвязей между целевым объектом (красным) и окружающими объектами для разных точек наблюдения объекта

По информации о пространственном расположении близлежащих объектов система виртуального адаптивного пространства выстраивает карту ассоциаций. Пространственное распределение соседних объектов описывается в полярной системе координат (СК), где центром СК является центр наблюдаемого объекта, а положение соседних объектов определяется радиус-вектором r и углом поворота α . Радиус-вектор r выходит из центра СК и оканчивается в центре соседнего объекта. Угол α определяется углом между радиус-вектором и горизонтальной осью.

Карта ассоциаций представлена гистограммой распределения соседствующих объектов. При построении карты распределения строится полярная сетка, где пространство полярной СК равномерно разбито на N секторов по углу. В гистограмме распределения по оси X расположены сектора полярной сетки, по оси Y указаны средние значения расстояний до объектов, попавших в заданный сектор. Для получения инвариантности значений расстояний от положения наблюдаемого объекта величины расстояний преобразуются из абсолютных значений в относительные путем деления абсолютной величины на размер диагонали габаритной коробки наблюдаемого объекта. Для полученной гистограммы вычисляется значение среднеквадратического отклонения σ , которое и является характерным числом топологического соседства объектов виртуального адаптивного пространства.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3)$$

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования были построены ассоциативные карты для объектов сцены виртуального адаптивного пространства для разных снимков сцены окружающего объектов. На рис. 4 показаны графы ассоциаций одного и того же объекта сцены на разных снимках стереопары системы виртуального адаптивного пространства.

В табл. 2 представлены данные ассоциативных признаков объектов. В таблице поле N_i содержит номер сектора полярной сетки, разделенной на 10 секторов, r_n – относительная величина среднего расстояния от центра наблюдаемого объекта до объектов, попавших в N_i сектор на левом фотоснимке (рис. 4), аналогично r_n – величина среднего расстояния для правого фотоснимка (рис. 4).

Таблица 2

Ассоциативный слой наблюдаемого объекта

N_i	r_n	r_n
1	0.214502	0.178727
2	0.462922	0.439191
3	0.38829	0.419084
4	0	0.41401
5	0.60392	0.305008
6	0.700335	0.523565
7	0.254514	0.411201
8	0.534888	0
9	0.352752	0
10	0.207922	0

Величина дисперсии целевых характеристик r_l и r_n для левого и правого фотоснимков равна $\sigma_l = 0,206578$ и $\sigma_n = 0,211066$ соответственно. Как видно из рис. 4, различные позиции наблюдения целевого объекта приводят к изменению ассоциативной карты объектов из-за пространственных свойств окружающих объектов (например, часть объектов может быть скрыта наблюдаемым объектом под одним углом наблюдения, но открыта под другим углом наблюдения). Тем не менее совокупная характеристика ассоциации объектов меняется незначительно.

Заключение

В статье был показан пример построения ассоциативного слоя виртуального адаптационного пространства. Ассоциативный слой виртуального адаптационного пространства позволил усовершенствовать метод классификации объектов виртуального адаптационного пространства, добавив помимо существующей количественной характеристики удаленности объектов виртуального пространства новую количественную характеристику, позволяющую

оценить топологическую взаимосвязь близлежащих объектов виртуального адаптационного пространства.

Список литературы

1. Сергеев А.М. Нейроморфный интеллект. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=1f00ab53-8ad5-47c5-b0cf-f9d5d2d990f9> (дата обращения: 01.08.2021).
2. Дюпин В.Н. Модель виртуального адаптационного пространства // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 3. С. 111–114.
3. Дубынин В. Мозг и его потребности. От питания до признания. М.: Альпина нон-фикшн, 2020. 520 с.
4. Lauritzen T., Dorn J.D., Greenberg R.J., Neysmith J.M., Talbot N.H., Zhou D.D. Cortical visual prosthesis. [Electronic resource]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/02/d1/b4/9c6647255c8c9d/US20140222103A1.pdf> (date of access: 13.08.2021).
5. Дюпин В.Н. Метод классификации объектов виртуального адаптационного пространства // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 5. С. 51–56.
6. Крайнов А. Компьютерное зрение. Лекция для Малого ШАДа Яндекс. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/yandex/blog/203136/> (дата обращения: 03.08.2021).
7. Горьков А. О цветовых пространствах. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/181580/> (дата обращения: 04.08.2021).