

УДК 004.946

## ИМИТАЦИОННЫЙ СЛОЙ ВИРТУАЛЬНОГО АДАПТАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Дюпин В.Н.

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

Статья посвящена аспектам комплексной методологии по созданию человеко-машинных интерфейсов, основанных на технологии виртуализации данных и реализации комплексных виртуальных адаптационных пространств. В статье отражена многослойная архитектура виртуального адаптационного пространства, которая расширяется на динамические процессы окружающего мира через имитационный слой. Имитационный слой виртуального адаптационного пространства позволяет адаптировать модели статического виртуального адаптационного пространства к динамически изменяющимся условиям окружающего мира. Для создания имитационного слоя в ядро системы виртуального адаптационного пространства загружаются модели поведения объектов окружающего мира. Погружение объектов в динамическое виртуальное адаптационное пространство сводится к итерационной загрузке статических моделей виртуального адаптационного пространства, привязанных к временной метке моделирования. Для каждой фазы моделирования в статической модели виртуального адаптационного пространства строится ассоциативный слой, из которого извлекается математический граф расположения связанных объектов виртуального адаптационного пространства. После заполнения ядра имитационного слоя система виртуального адаптационного пространства итерационно создает новый статический слой виртуального адаптационного пространства, объекты которого попарно сравниваются с фазами шаблонов поведения ядра имитационного слоя. По наиболее вероятному шаблону поведения осуществляется классификация объектов виртуального адаптационного пространства. Имитационный слой позволяет провести классификацию объектов, содержащих как набор статических признаков, так и набор динамически изменяющихся характеристик погружаемых объектов.

**Ключевые слова:** виртуальное адаптационное пространство, человеко-машинные интерфейсы, имитационное моделирование, динамические системы, компьютерное зрение, классификация объектов, имитационная модель

## IMITATION 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 is devoted to aspects of an integrated methodology for the creation of human-machine interfaces based on data virtualization technology and the implementation of integrated virtual adaptation spaces. The article reflects the multi-layer architect of the virtual adaptation space, which expands to the dynamic processes of the surrounding world through the imitation layer. The imitation layer of the virtual adaptation space allows the models of the static virtual adaptation space to be adapted to the dynamically changing conditions of the surrounding world. To create an imitation layer, behavioral models of objects of the surrounding world are loaded into the core of the virtual adaptation space system. The immersion of objects in a dynamic virtual adaptation space is reduced to iterative loading of static models of the virtual adaptation space, tied to the modeling timestamp. For each phase of modeling in the static model of the virtual adaptation space, an associative layer is built, from which the mathematical graph of the location of related objects of the virtual adaptation space is extracted. After filling the core of the simulation layer, the system of the virtual adaptation space iteratively creates a new static layer of the virtual adaptation space, the objects of which are matched in pairs with the phases of the behavior patterns of the core of the simulation layer. The objects of the virtual adaptation space are classified according to the most probable pattern of behavior. The simulation layer allows for the classification of objects containing both a set of static attributes and a set of dynamically changing characteristics of submerged objects.

**Keywords:** virtual adaptation space, human-machine interfaces, simulation, dynamic systems, computer vision, object classification, simulation model

Виртуальное адаптационное пространство (ВАП) является системой смешанной виртуальной реальности, которая реализуется путем комплексного воздействия на каналы восприятия человека с целью компенсации поврежденных каналов восприятия человека.

В настоящее время известны различные виды систем виртуальной реальности. Современные системы виртуальной реальности используются для создания виртуальных миров и средств коммуникации субъекта виртуальной реальности

с компьютерной моделью виртуального мира. Для погружения человека в виртуальную реальность используются устройства, которые оказывают активное влияние на каналы восприятия человека. К числу таких устройств можно отнести шлем виртуальной реальности, который позволяет спроецировать видеопоток моделируемого компьютерного мира на зрительный канал восприятия человека. Для воспроизведения видеопотока используются устройства-ассистенты, которые плотно крепятся к поверхности лица субъекта виртуальной

реальности [1]. Перемещение человека в окружающем пространстве синхронизируется с перемещением в виртуальном мире за счет использования видеокамер, которые осуществляют отслеживание перемещения субъекта виртуальной реальности и определяют направление перемещения субъекта виртуальной реальности.

Системы виртуальной реальности позволяют моделировать процессы окружающего мира и реализовывать комплексные системы подготовки специалистов. При реализации систем виртуальной реальности следует учитывать массовое погружение объектов исследуемого мира в виртуальную реальность, которое требует использования больших систем хранения данных. Системы хранения данных для виртуальной реальности должны обладать большой емкостью и высокой скоростью доступа к данным.

При решении прикладных задач виртуализации используются гибридные системы, позволяющие использовать как малые системы виртуальной реальности, так и информацию с каналов восприятия человека. Примером таких систем являются системы дополненной реальности, которые позволяют проецировать компьютерные модели на визуальный канал восприятия человека [2].

Особое место в системах виртуализации занимают системы виртуальных адаптационных пространств, которые позволяют компенсировать поврежденный канал восприятия человека за счет комплексного воздействия на активные каналы восприятия субъекта системы [3].

Виртуальное адаптационное пространство базируется на многослойной архитектуре, которая включает:

- слой выделения объектов;
- ассоциативный слой;
- имитационный слой;
- дополнительные слои.

Слой выделения объектов позволяет обнаружить множество объектов окружающего пространства, подлежащих погружению в виртуальное пространство, и провести классификацию обнаруженных объектов. Ассоциативный слой ВАП позволяет построить карту взаимосвязей между объектами для нахождения сходных черт объектов [4]. Имитационный слой ВАП позволяет провести классификацию модели изменения объектов в ВАП.

Следует отличать два направления применения систем виртуального адаптационного пространства:

- моделирование статических систем;
- моделирование динамических систем.

Для статических систем объекты виртуального адаптационного пространства

неизменны в течение времени. К такому направлению можно отнести системы анализа статических изображений, например системы компьютерного зрения и обнаружению объектов сцены на изображении.

Для динамических систем объекты виртуального адаптационного пространства могут претерпевать изменения по разным классам характеристик объектов:

- пространственному расположению объектов;
- форме погружаемых объектов;
- цвету виртуальных объектов;
- взаимосвязей объектов.

При статическом моделировании основное внимание уделяется задаче выделения характерных признаков объектов для последующего обнаружения объектов в окружающем пространстве [5]. При динамическом моделировании помимо решения задачи выделения характерных признаков объектов в окружающем пространстве особое внимание уделяется решению задачи построения шаблона модели поведения объекта (имитационной модели). Имитационная модель объекта содержит обобщенную информацию об изменении характерных черт объектов в рамках заданного временного интервала.

В статье представлен пример погружения динамического объекта физического пространства в виртуальное адаптационное пространство и метод построения имитационной модели объекта.

Цель исследования заключается в развитии метода погружения объектов в виртуальное адаптационное пространство с учетом динамики процессов окружающего пространства.

Задачи исследования:

- построение статического виртуального адаптационного пространства на временном срезе окружающего пространства;
- наполнение базы поведенческих моделей;
- расширение статического виртуального пространства в динамическое пространство с классификацией шаблонов поведения динамических объектов.

### Материалы и методы исследования

При исследовании сложных систем, которые содержат большое количество взаимодействующих объектов со слабо формализованным поведением, ученые прибегают к имитационному моделированию. Системы имитационного моделирования позволяют формализовать законы динамики сложных систем через моделирование поведения отдельных частей системы.

Построение динамического виртуального адаптационного пространства включает

ся в итерационном построении фрагментов статического виртуального адаптационного пространства и интерполяции характерных признаков объектов статического ВАП между итерациями. Совокупная динамика характерных признаков объекта формируют имитационную модель динамического виртуального адаптационного пространства.

При построении статического виртуального адаптационного пространства производится сбор данных с сенсорных датчиков систем ВАП. Используя метод расчета оптического потока, система ВАП осуществляет классификацию объектов с последующей экструзией объектов ВАП.

Исходя из анализа границ объектов ВАП выстраивается ассоциативный слой ВАП, позволяющий определить взаимосвязи между объектами. Ассоциативный слой ВАП позволяет построить математический граф взаимосвязи объектов ВАП. В вершинах графа расположены геометрические центры объектов ВАП. Ребра графа ассоциативного слоя ВАП хранят информацию о смежности объектов ВАП.

Для исследования динамики объектов окружающего мира поверх статического виртуального адаптационного пространства строится имитационный слой виртуального адаптационного пространства. При построении динамического ВАП статическое ВАП разделяется на прямоугольные сегменты по ширине и высоте статического ВАП. Для каждого прямоугольного сегмента вычисляется интегральная характеристика, которая определяется множеством динамических объектов ВАП, центры которых попали в заданный прямоугольный сегмент. Центры статических объектов не учитываются при расчете интегральной характеристики сегмента.

На рис. 1 представлен пример динамической системы «Настенные часы». Подвижными объектами системы являются стрелки циферблата.

Статическая область системы разбита по ширине и высоте на два фрагмента.

За 45 с наблюдения за системой секундная стрелка осуществляет перемещение по часовой стрелке из одного фрагмента статической области в смежный фрагмент. Черным эллипсом отмечен центр секундной стрелки. Изменения положения минутной и часовой стрелки в процессе моделирования 45 с являются незначительными, поэтому их центры не обозначены на рисунке.

Для построения ядра имитационного слоя с датчиков ВАП собирается информация о шаблонах поведения динамических объектов. В рамках системы «Настенные часы» погружаются шаблоны поведения перемещения часовой, минутной и секундной стрелок. Например, для секундной стрелки осуществляется построение 12 моделей статического ВАП в течение одной минуты. Для минутной стрелки также осуществляется построение 12 моделей статического ВАП в течение одного часа. Для часовой стрелки строится 12 моделей в течение 12 часов. В ядро имитационного слоя погружается информация о местоположении центров стрелок динамической системы «Настенные часы», а также информация о динамике изменения положения центров динамических объектов на каждой фазе моделирования для трех сценариев моделирования.

При использовании имитационного слоя динамического ВАП осуществляется погружение окружающих объектов в ВАП. Из ассоциативного слоя ВАП извлекается информация о центрах объектов и взаимосвязей объектов ВАП. Имитационный слой осуществляет фильтрацию объектов ВАП по признаку смещения центров объектов в пространстве. Исходя из базы шаблонов поведения имитационного слоя, осуществляется верификация суперпозиции центров объектов с фазами шаблонов поведения динамического ВАП. На основе метода расчета среднеквадратического отклонения для суперпозиции центров объектов выбирается наиболее вероятная фаза шаблона поведения динамического объекта ВАП.

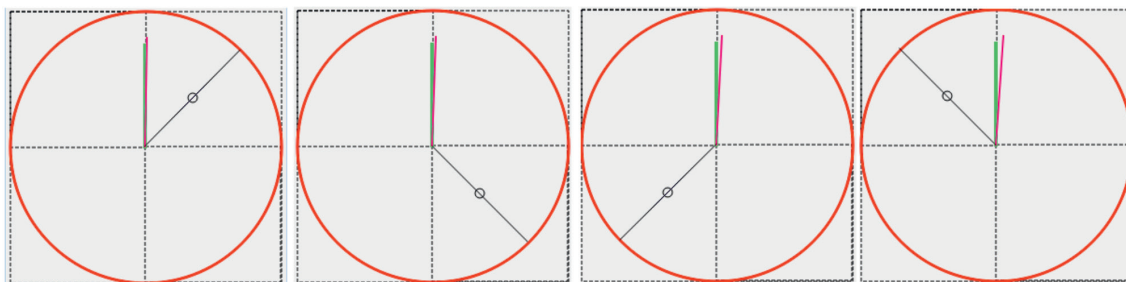


Рис. 1. Пример динамической системы «Настенные часы»



Рис. 2. Модель движения мужчины в проекте BioMotionLab



Рис. 3. Модель движения женщины в проекте BioMotionLab

По характеру изменения объектов динамического ВАП осуществляется классификация объектов ВАП. Более вероятные шаблоны поведения позволяют определить класс объектов, за которыми закреплены эти шаблоны в ядре имитационного слоя ВАП.

При исследовании сложных самоорганизующихся систем канадская лаборатория BioMotionLab разработала программный компонент для моделирования движения человека [6]. На рис. 2 представлена модель спокойной ходьбы мужчины, состоящая из трех фаз.

На рис. 3 представлена модель движения женщины в программном компоненте BioMotionLab. Как видно из рисунка, структура опорно-двигательного аппарата человека отличается для разных полов, соответственно, ключевые узлы движения нижних

конечностей у женщины расположены дальше от оси позвоночника модели. По характеру движения ключевых точек можно определить пол перемещающегося объекта.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Для исследования имитационного слоя ВАП были взяты открытые шаблоны движения людей разных полов из проекта моделирования движения людей BioMotionLab. На рис. 4 представлены данные, которые были поданы на вход имитационному слою ВАП для моделирования движения людей из открытого выступления актеров на конкурсе мастерства актера раздела «Наблюдение за животными» курса В.А. Сажина театрального института имени Б. Щукина [7].





Рис. 4. Фрагмент исходных данных для моделирования поведения движения



Рис. 5. Результат сопоставления моделей (слева – тестовая фаза шаблона движения мужчины, справа – результат сопоставления узлов моделей)

При построении имитационного слоя первоначально строился ассоциативный слой ВАП, на базе которого определялись вершины коммуникационного графа объекта. В качестве тестового объекта был выбран торс актера. К выделенному объекту сцены поочередно выполнялась операция сравнения распределения вершин ассоциативного слоя ВАП и вершин имитационной модели.

В таблице приведены значения координат узлов моделей, где  $(a_x, a_y)$  – координаты узлов графа ассоциативного слоя ВАП,  $(b_x, b_y)$  – координаты шаблона модели BioMotionLab.

Сопоставление координат объектов

$N_i$	$a_x$	$a_y$	$b_x$	$b_y$
1	127	66	278	26
2	62	50	262	66
3	76	34	284	72
4	74	92	309	61
5	86	107	273	110
6	80	81	317	111
7	96	80	279	131
8	83	52	264	160
9	86	94	295	153
10	126	55	251	213
11	104	88	301	218
12			252	287
13			335	266

При сопоставлении координат объектов преобразование системы координат (СК) шаблона поведения BioMotionLab и СК ассоциативного слоя ВАП. При этом СК шаблона BioMotionLab смещается в геометрический центр шаблона и масштабируется по осям X и Y пропорционально отношению длин и ширин габаритных размеров шаблона  $b$  и объекта  $a$ .

Красными кружками на рис. 5 отмечены позиции узлов ассоциативного слоя статического ВАП, желтыми кружками – позиции узлов шаблона BioMotionLab. Для каждой точки объекта на графе ассоциативного слоя ВАП задается  $\varepsilon$  окрестность вершин графа и осуществляется подсчет общего числа узлов шаблона, попавших в  $\varepsilon$  окрестности вершин графа. Отношение числа попавших вершин шаблона к общему числу вершин шаблона формируют вероятность соответствия графа ассоциативного слоя ВАП шаблонному поведению. Для исходного графа ассоциативного слоя ВАП вероятность совпадения с шаблоном BioMotionLab составила 62 %.

### Заключение

В статье был показан пример построения имитационного слоя виртуального адаптивного пространства. Имитационный слой ВАП позволил усовершенство-

вать метод классификации объектов ВАП, основанный на ассоциативном слое ВАП, в направлении классификации динамических объектов окружающего пространства. Имитационный слой ВАП оперирует шаблонами поведения динамических объектов, определяя вероятность совпадения распределения узлов ассоциативного слоя ВАП с распределением узлов шаблонов поведения.

#### Список литературы

1. Крайнов А. Компьютерное зрение. Лекция для Малого ШАДа Яндекс. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/yandex/blog/203136/> (дата обращения: 24.09.2021).
2. 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: 24.09.2021).
3. Дюпин В.Н. Метод классификации объектов виртуального адаптационного пространства // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 5. С. 51–56.
4. Дюпин В.Н. Ассоциативный слой виртуального адаптационного пространства // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 9. С. 62–67.
5. Дубынин В. Мозг и его потребности. От питания до признания. М.: Альпина нон-фикшн, 2020. 520 с.
6. Troje N.F. Retrieving information from human movement patterns. [Electronic resource]. URL: <https://www.biomotionlab.ca/walking/> (date of access: 24.09.2021).
7. Сажин В.А. Мастерство актера. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=IvWNv58Gb9M> (дата обращения: 24.09.2021).