Научная статья
УДК 005:051

Метод аугментации многоагентных гетерогенных систем

Вячеслав Константинович Абросимов, Дмитрий Михайлович Покровский

Аннотация. Известные методы аугментации для увеличения объема выборки в интересах повышения точности и исключения переобучения моделей машинного обучения применяются для аугментации изображений и текстов. Разработан новый метод «шкальной аугментации» атрибутов разнотипных агентов, образующих многоагентные системы. Суть метода заключается в выделении агентов, образующих систему, определении измерительных шкал, соответствующих сущности атрибутов агента, задании на этой шкале границ изменения значений атрибутов, исходя из особенностей практической задачи и варьирования значениями атрибутов по правилам шкалирования с получением синтетического экземпляра (реализации) многоагентной гетерогенной системы. Изложение проводится на примере создания синтетических прецедентов группового управления как явлений, возникающих в процессе выполнения группами интеллектуальных объектов управления в противодействующей среде коллективных миссий.

Ключевые слова: гетерогенная система; агент; аугментация; сущность; обучение; измерительная шкала; группа; управление

Для цитирования: Абросимов В.К., Покровский Д.М. Метод аугментации многоагентных гетерогенных систем // Вооружение и экономика. 2025. №2(72). С. 9-18.

Original article

Augmentation Method for Multi-Agent Heterogeneous Systems

Viacheslav K. Abrosimov, Dmitrii M. Pokrovskii

Abstract. Known augmentation methods for the sample size increasing in the interests of improving accuracy and overtraining elimination of machine learning models are used for images and texts augmention. A new method of "scale augmentation" of agents forming multi-agent systems of different types attributes has been developed. The essence of the method consists of agents identification that form the system, measurement scales determination that correspond to the essence of the agent attributes, setting the boundaries of change in attribute values on this scale based on the specifics of the practical task, and varying the attribute values according to scaling rules to obtain a synthetic instance (implementation) of a multi-agent heterogeneous system. The presentation is carried out using the example of the creation of synthetic precedents of group management as phenomena that arise in the process of performing collective missions by groups of intelligent control objects in a counteracting environment.

Keywords: heterogeneous system; agent; augmentation; entity; machine learning; measurement scale; group; control

For citation: Abrosimov V.K., Pokrovskii D.M. Augmentation Method for Multi-Agent Heterogeneous Systems. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025;72(2): 9-18. (In Russ.).

Введение

В последние годы в различных прикладных областях народного хозяйства появилось много проблемных задач, выполнение которых требует использования групп объектов управления. Современные задачи, требующие высокой оперативности принятия решений в условиях неопределенных, часто противодействующих сред, ограничивают использование одиночных дорогостоящих объектов. Более эффективным является создание группировок с включением в их состав разносредовых и разнотипных объектов управления, обладающих различным функционалом, выполняющих общую коллективную миссию. К таким миссиям можно отнести коллективное картографирование, транспортировку группой объектов, поиск объектов интереса и людей, мониторинг и охрану протяженных территорий, поиск источников сигнала, создание сетей связи и др. В состав таких групп могут включаться объекты различного типа, вида базирования, функциональности и назначения, действующие в различных средах. Такие объекты должны быть в максимальной степени автономны, адаптивны к изменению внешней среды, оснащены существующими высокоэффективными

© Абросимов В.К., Покровский Д.М., 2025

системами связи для взаимодействия, навигации, технического зрения, обладать возможностями движения в пространстве с обходом препятствий и др.[4]

Выполняя коллективную миссию, группа реализует некоторую стратегию поведения. Но в силу несовпадения целей группы и среды потенциально возможное противодействие существенно снижает эффективность коллективных миссий [1]. Возможным решением в этой ситуации является обучение группы эффективной коллективной стратегии поведения в конфликтной среде. Современным методом построения таких стратегий является глубокое машинное обучение. Целесообразно использовать для обучения ситуации, которые имели место ранее и которые могли бы стать примером для выбора решения в новой ситуации с использованием или адаптацией уже известных решений. Такие примеры называются прецедентами, а рассуждение на основе прецедентов является подходом, позволяющим решить новую, неизвестную задачу [2]. Прецеденты, используемые в рассуждении на основе прецедентов, обычно представляют собой пары «проблема-решение», где проблема – это конкретная ситуация или задача, а решение – это способ, которым она была решена. Когда поступает новая задача, анализируются уже имеющиеся прецеденты, с использованием критериев сходства и различия находится наиболее подходящий, и решение адаптируется для новой ситуации. Этот подход особенно эффективен в ситуациях, когда имеется ограниченное количество информации или когда нет четкого алгоритма для решения задачи.

Однако возникновение прецедента в групповом управлении является достаточно сложным явлением. Прецедент представляет собой ситуацию, происходящую с данной группой и в данных условиях среды, сопровождаемую решением (стратегией поведения в данной конкретной ситуации) и оценкой его качества. Прецедент:

1. описывается и формализуется совокупностью разнотипных сущностей;
2. связан со стратегиями поведения различных объектов управления;
3. возникает, как правило, спонтанно;
4. реализуется в некоторой быстроменяющейся среде;
5. формируется под воздействием объективных и субъективных факторов;
6. содержит внутри себя коллизию;
7. является основой для выработки решений;
8. систематизируется в виде базы данных.

С системной точки зрения все сущности, имеющие отношение к прецедентам, можно рассматривать как агентов, а сам прецедент – как многоагентную систему (МАС). Действительно, МАС – это самоорганизующаяся система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами. В МАС агенты имеют несколько важных характеристик – они частично автономны, каждый агент не имеет представления о всей системе, нет управляющего органа, а решения вырабатываются путем взаимодействия через матрицы запросов, причем агенты могут обмениваться знаниями, подчиняясь общим протоколам [3; 4]. В нашем случае легко выделить агентов объектов, агентов группы, агентов миссии, агентов среды, агентов решения и др. Агенты сущностно различны, но каждый характеризуется определенными атрибутами, имеет потребности и обладает возможностями.

Прецеденты, описывающие различные ситуации, могут использоваться для построения обучающих выборок. Модель машинного обучения, построенная на прецедентах, будет ставить в соответствие текущей ситуации, фиксируемой системами технического зрения различных объектов группы, прецедент, наиболее близкий к уже имевшему место и, что возможно, самое главное, по которому уже было принято решение с известным эффектом.

В практическом использовании технологии машинного обучения выделяются в последнее время две основные и стандартные проблемы построения репрезентативных

[4] Ростопчин В.В. Групповое применение беспилотных летательных аппаратов. Ч.1. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов и предпосылок перехода к групповому применению // SDT Industrial Technology. 2022. January. URL: https://www.researchgate.net/publication/357809745_Gruppovoe_primenenie_bespilotnyh_letatelnyh_apparatov_Cast_1_Osobennosti_primenenia_bespilotnyh_letatelnyh_apparatov_i_predposylki_perehoda_k_gruppovomu_primeneniu

обучающих выборок. Первая состоит в принципиальной и объективной непрозрачности получаемых решений и крайне слабой их интерпретируемости, что значительно снижает доверие к моделям. Вторая проблема заключается в создании адекватной реальности обучающей выборки. В нашем случае в практике группового движения наблюдается практически полное отсутствие описаний прецедентов, тем более в форме, необходимой для машинного обучения. Поэтому необходимо накопление и использование так называемых синтетических прецедентов, получаемых путем применения специальных методов моделирования.

На решение второй проблемы направлены методы получения синтетических образов. В качестве примера возможного решения можно привести методы аугментации образов подводных объектов [5].

1 Метод шкальной аугментации

Синтетические данные формируются на различных моделях: имитационных, математических и др. В самом общем случае можно выделить три типа представления данных, имеющих особенности при синтезе синтетических данных: данные представляются в формате чисел (чаще в форме чисел и таблиц), текста, а также в виде изображений, в том числе видео- или аудиофайлов. В литературе процесс получения синтетических данных четко связывается с понятием аугментации. Термин «аугментация» иностранный (от лат. augmentatio – умножение) и означает «усиление, увеличение, наращивание». Аугментация данных (Data augmentation) является широко используемой техникой увеличения размера обучающей выборки различными способами модификации существующих данных для задач, прежде всего, машинного обучения. При незначительном числе данных для машинного обучения существует значительный риск переобучения модели, то есть ее высокая точность будет достигаться только для данных, крайне близких к данным обучающей выборки. В этом смысле аугментация также необходима для исключения переобучения модели.

Методы аугментации наиболее разработаны для задач машинного обучения в целях классификации изображений [6-8]. В основу методов аугментации изображений заложено изменение в определенных пределах отличительных и характерных признаков и особенностей построения изображений, в том числе его разрешения, яркости, насыщенности четкости, контрастности, наложение эффекта снега, дождя, тумана, текстуры, цветности и др. Активно используется более двадцати модификаций изображений нескольких типов: операции с цветом, геометрические операции, операции с объектами и др. В их числе изменение положения (сдвиги, повороты, сжатие и растяжение изображения вдоль осей), введение дополнительных линий на изображениях, добавление в изображение гауссовского шума, формирование бликов, расфокусировка с целью создания нечеткости, фрагментация, наложение текстуры, перевод в черно-белый формат и др. [9].

В настоящее время по вопросам построения специальных выборок для машинного обучения с использованием синтетических данных есть довольно много публикаций. Однако, как указано выше, до настоящего времени аугментации подвергался хотя и сложный, но одномерный объект – изображение. В нашей постановке необходимо аугментировать и получить новые реализации целой многоагентной системы, состоящей из сущностно различных агентов, которые тем не менее после аугментации должны составлять единый, аугментированный объект, причем того же класса, что и исходный.

Дадим два основных определения.

Определение 1. Под аугментацией многоагентной системы будем понимать совокупность технических приемов, позволяющих целенаправленно искажать характеристики агентов, образующих многоагентную систему, меняя в заданных пределах их атрибуты с сохранением классификационных признаков многоагентной системы в целом.

Определение 2. Шкалированной аугментацией многоагентной гетерогенной системы называется процесс формирования новых атрибутов агентов, образующих систему, измеряемых на различных шкалах и варьируемых по соответствующим правилам шкалирования.

Шкалирование определяется как научный метод моделирования исследуемых процессов с помощью числовых систем, вводящий упорядочивающие отношения на измеряемом множестве свойств или их мер [10]. При использовании метода шкалирования необходимо соблюдать взаимно-однозначное соответствие между элементами эмпирического и формального прецедентов. Данное условие обозначает, что каждому элементу первого множества должен соответствовать только один элемент второго, и наоборот. При этом взаимно-однозначное соответствие типов отношений между элементами обоих множеств (изоморфизм структур) не обязательно.

В квалиметрии выделяют следующие основные виды шкал: шкала наименований, порядка, интервалов, отношений, абсолютных величин, нечеткие шкалы.

В шкале наименований значения принимают роль ориентиров (меток) для обнаружения и различения изучаемых объектов. При использовании данной шкалы недопустимо использование многих математических операций.

В шкале порядка числа упорядочены по рангам, однако интервалы между ними не подлежат точному измерению. В отличии от шкалы наименований шкала порядка позволяет дополнительно определить характер неравенства измеряемых объектов.

На шкале интервалов фиксируются отличия сопоставляемых значений. Для такого метода есть условные, но вполне определенные единицы измерений, что позволяет количественно охарактеризовать соотношение исследуемых значений.

На шкале отношений откладываются численные значения, определяемые как математическое отношение измеряемого параметра к другому известному параметру, принимаемому за единицу измерения. Отличительной особенностью данной шкалы является строго определенное положение и отсутствие отрицательных значений [11].

В последние годы более активно стали использоваться нечеткие шкалы [12].

В теоретическом плане при выборе метода аугментации целесообразно использовать аксиомы методов многомерного оценивания конечного множества объектов, в частности, аксиому шкалирования признаков и аксиому шкалирования в общую шкалу [13].

Суть разрабатываемого предлагаемого метода шкальной аугментации заключается в следующем:

1. Предъявляется для аугментации многоагентная гетерогенная система, состоящая из агентов, сущность которых различна.

2. Определяется набор атрибутов, характеризующих каждого агента многоагентной системы.

3. Каждому атрибуту агента ставится в соответствие отражающая его сущность одна из известных типов шкал (номинальная, порядковая, интервальная, отношений, нечеткая), на которой он может быть определен и задан.

4. Задаются практически ориентированные границы изменения значений атрибутов на выбранной шкале с учетом требования сохранения классификационных признаков многоагентной системы.

5. Значения атрибутов изменяются в соответствии с выбранной шкалой и границами по правилам шкалирования.

6. Новые значения атрибутов агентов объединяются в виде кортежа, образуя и описывая новую синтетическую реализацию многоагентной системы.

2 Шкалированная аугментация прецедентов

В работе [14] групповой прецедент предложено формализовать в виде дизъюнктивно-конъюнктивной нормальной формы следующих шести основных формирующих прецедент сущностей (Объекты D (Drone), Группа G (Group), Среда E (Environment), Ситуация S (Situation), Решение R (Resolution), Эффект B (Benefit), что определяет как необходимость, так и одновременность их проявления в групповом прецеденте. Логико-лингвистическое описание содержит все основные атрибуты образующих групповой прецедент агентов.

Подстановка значений атрибутов преобразует логико-лингвистическое описание в реализацию группового прецедента.

Класс «Объекты» описывается многими десятками различных (в том числе и интегральных, комплексных) параметров, но такая детализация для представления объекта в прецедентной ситуации не требуется. Достаточно описания объектов в виде кортежа, включающего формальное представление в виде числовых или лингвистических переменных ролей, потребностей (ресурсов), возможностей (функционала, образования пространственно-временных структур, воздействия на противодействующую среду), обученности стратегиям поведения и статуса (ценности для группировки, текущей активности, уязвимости и др.) [12]. Такой кортеж довольно полно описывает статус как совокупность стабильных значений объекта в среде «в моменте».

В работе [11] представлены аналогичные описания и для других агентов прецедента: типа объекта управления (робототехническое средство, беспилотный летательный аппарат, безэкипажный катер, автономный необитаемый подводный аппарат и др.), миссии группы как коллективному целеполаганию (мониторинг, патрулирование, поиск объектов интереса, доставка груза, ретрансляция сигналов и др.), организации и взаимодействия в группах (с назначенным лидером, с избранным лидером, самоорганизующаяся группа и др.), ситуациям как результату совокупности произошедших событий, решениям в ситуациях (отложить, приостановить, прекратить выполнение миссии, запросить помощь, оказать воздействие на влияющий фактор среды, реконфигурировать группу с перераспределением ролей и задач, реализовать требуемую формацию и др.), потенциальному эффекту от реализации принятого решения.

Определение 3. Синтетическим прецедентом называется полученная с использованием метода шкальной аугментации в интересах построения обучающих выборок для машинного обучения стратегиям поведения в проблемных средах логико-лингвистическая модель прецедента, классификационные признаки которой позволяют отнести ее к определенному классу с заданной степенью достоверности (как правило, не ниже 0,9).

Целенаправленная вариация значений атрибутов агентов в выбранных диапазонах позволит получать сколь угодно большое количество синтетических прецедентов.

Исходя из материалов работы [15], аугментации при синтезе синтетических прецедентов подлежат агенты объектов, агент группы, агент состояния группы, агенты задач, агенты внешней среды, агенты принимаемых решений и агенты эффективности решений.

Аугментация агентов объектов осуществляется прежде всего изменением их статуса, включающего до десяти основных параметров [16].

Аугментация агента группы осуществляется в направлении увеличения мощности (количества объектов группы) от малочисленной группы до роя и включения в нее объектов различного вида. При этом аугментация осуществляется внутри классов – группа, стая, рой.

Аугментация агента состояния группы осуществляется вариацией параметров ее состояния, а именно выполняемых группой ролей, организацией пространственно-временных структур, параметров стратегии поведения группы, множества ее функций и возможностей по влиянию на среду, нейтрализуя ее негативные воздействия.

Аугментация агентов задач изменяет параметры нескольких классов задач группового движения: задач мониторинга (разведки), задач проникновения на охраняемые объекты и задач охраны объектов и др.

Аугментация агентов внешней среды изменяет ее параметры – объективные (географию, объективные условия (ночь, туман и др.)) и противодействующие (количество и виды средств противодействия с их основными возможностями).

Аугментация агентов принимаемых решений изменяет признаки стратегий поведения группы.

Аугментация оценки эффективности решений варьирует нечеткими характеристиками эффекта с точки зрения целеполагания миссии группы.

Рекомендуемые измерительные шкалы для различных атрибутов агентов прецедентов и обоснование их выбора приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Обоснование выбора измерительных шкал для измерения параметров агента прецедента

Агенты прецедентов	Признак шкалирования	Наименование классов	Рекомендуемая измерительная шкала	Обоснование целесообразности использования шкалы
Агенты объектов	По типам объектов, образующих группу	- РТК; - БЛА; - БЭК; - АНПА	- шкала наименований	Между классифицируемыми признаками отсутствуют какие-либо математические взаимосвязи
Тип группы	Количество объектов в группе	- группа; - стая; - рой	- шкала интервалов	Отсутствует необходимость получения значений с высокой точностью, достаточным условием является способность выбранной шкалы фиксировать отличия сопоставляемых групп
Стратегия управления группы	Тип стратегии управления	- группа с лидером; - группа без лидера; - самоорганизующаяся группа	- шкала порядка	Классы групп представляют собой последовательный ряд значений, дающий систематизированное представление о сложности организации групп сопоставляемых классов
Стратегия принятия решений в группе	Принцип принятия решений	- конкурентная; - коллективная	- шкала наименований; - шкала порядка; - шкала интервалов	Целесообразность применения нескольких видов шкал обусловлена выбранной стратегией. Например, на первом этапе осуществляется выбор основного принципа по шкале наименований, на втором этапе по шкале порядка уточняется для каких именно прецедентов приоритетно используется выбранный класс. На заключительном этапе определяется количество сценариев (ситуаций), для которых применима конкретная стратегия
Целеполагание группы	Миссия группы	- мониторинг (наблюдение, разведка, контроль); - патрулирование (инспектирование, поиск); - доставка груза; - ретрансляция сигнала; - атака охраняемого объекта; - защита охраняемого объекта	- шкала наименований; - шкала порядка	Здесь не требуется знание параметров с высокой точностью. Но при сложной структуре миссии используется шкалирование в два этапа с уточнением приоритетов в зависимости от складывающейся ситуации
Пассивная среда прецедента	Тип пассивного противодействия	- день; - сумерки; - ночь; - туман; - дождь; - грязь; - ветер; - волнение поверхности; - муть; - препятствия	- шкала наименований; - шкала отношений; - шкала абсолютных величин	Данный агент прецедента требует максимальной степени детализации. При этом первый этап шкалирования не завершается после выбора какого-либо параметра по шкале наименований, а последовательно уточняется на все более подробных шкалах
Достигнутый эффект	Значение параметра эффективности (числовое или зависит от выполняемой задачи)	Оценивается лингвистическим значением нечеткой переменной «эффект»: - высокий - приемлемый - средний - удовлетворительный; - неудовлетворительный	- шкала порядка; - шкала отношений	Переменная «эффект» представляет собой последовательный ряд значений, дающий систематизированное представление об эффективности принятых решений с точки зрения целеполагания миссии группы. Поэтому имеет смысл применение шкалы порядка

Проведенные исследования показали необходимость более глубокого шкалирования параметров агентов. Так, например, все объекты, участвующие в формировании прецедентов группового управления, можно разделить на три большие группы:

1. робототехнические комплексы с подгруппами, роботизированные образцы танков, роботизированные образцы боевых машин пехоты и бронетранспортеров, роботизированные мобильные платформы;

2. беспилотные летательные аппараты с подгруппами: беспилотные летательные аппараты самолетного типа, коптерного типа, с управлением по оптоволокну и др.;

3. безэкипажные катера с подгруппами: «малые суда», «гавань», «ныряльщик с трубкой», «флот» [17].

Здесь требуется как минимум два уровня декомпозиции, но измерительные шкалы на обоих уровнях одинаковые (см. рисунок 1). В ряде случаев при декомпозиции могут потребоваться различные шкалы. Так, например, агент эффекта не всегда можно оценить численно. При привлечении так называемых нечетких шкал и использовании экспертных оценок на первом уровне используется нечеткая шкала, а на последующих – числовые.

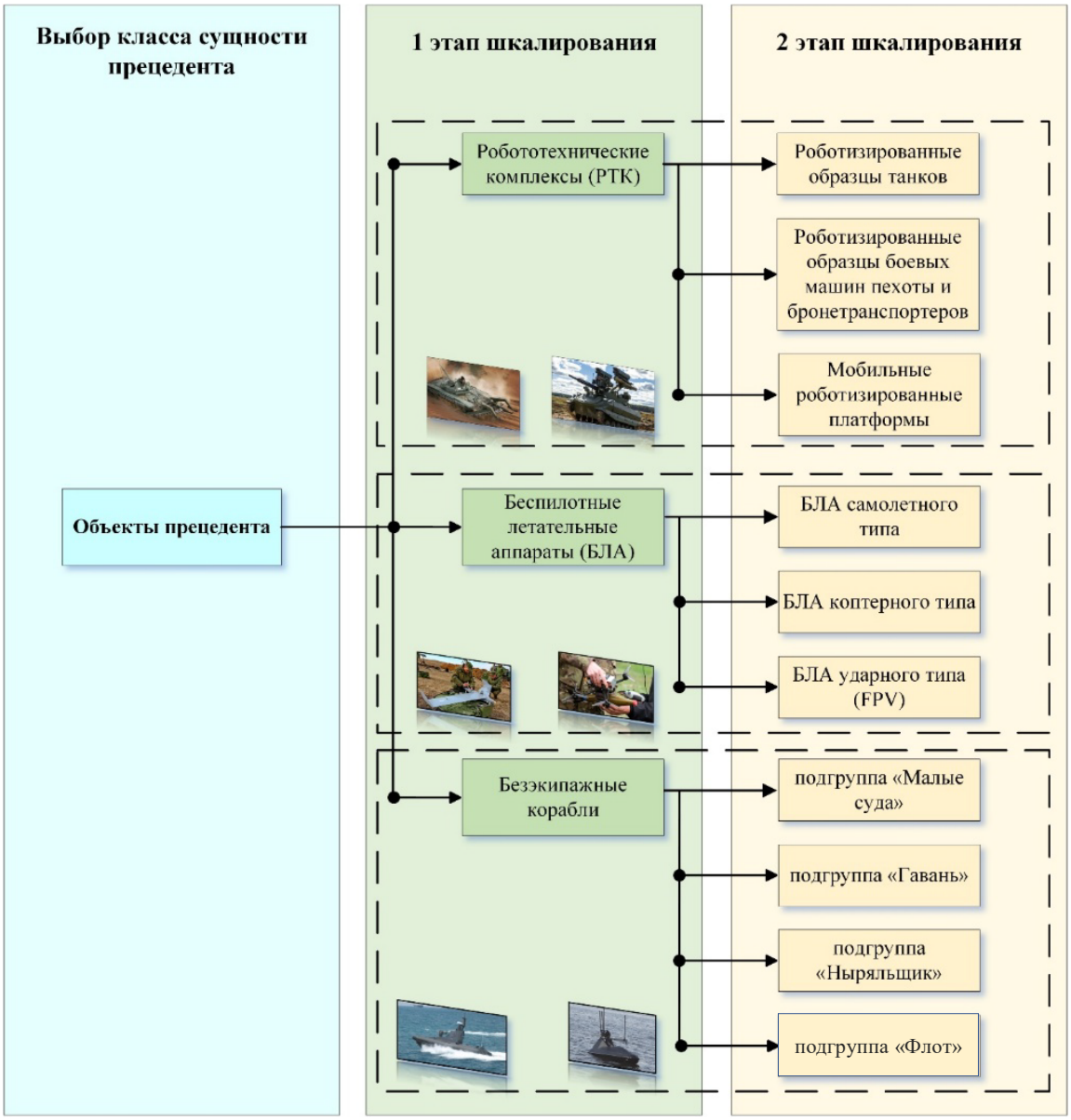

Рисунок 1 – Структурная схема этапов шкалирования параметров агента «Объект»

Примеры структурных схем шкалирования по этапам приведены на рисунках 1 и 2 соответственно. Больший интерес с точки зрения аугментации прецедента представляет шкалирование активной среды прецедента. Описание данного агента может раскрываться посредством применения многих этапов, однако детальное раскрытие каждого параметра может быть нецелесообразно из-за ограниченности вычислительных ресурсов и низкой потребности в высокой точности при описании косвенных параметров агента прецедента.

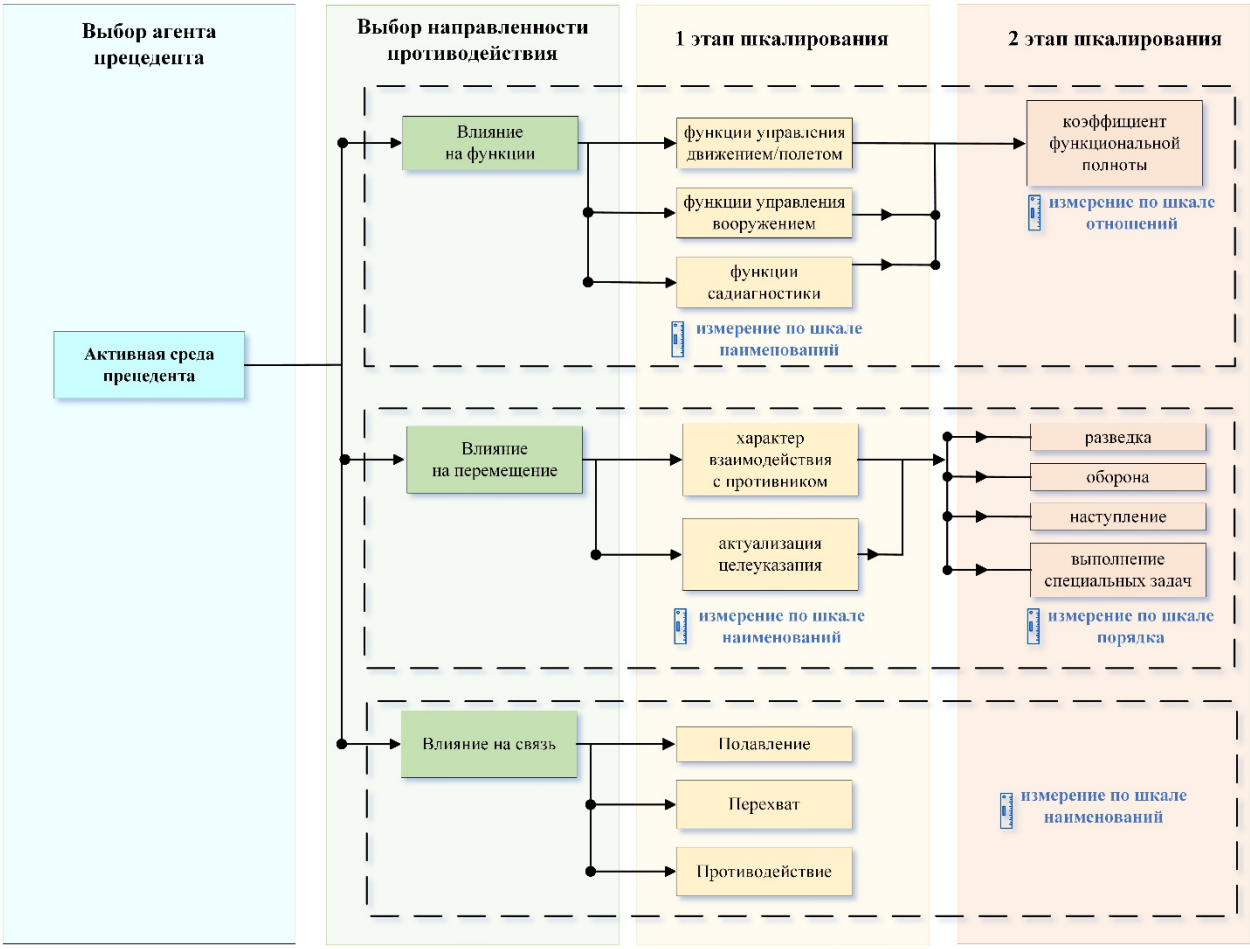

Рисунок 2 – Структурная схема этапов шкалирования сущности агента прецедента «Активная среда» в зависимости от типа активного противодействия

3 Особенности применения метода шкальной аугментации

Использование метода шкальной аугментации для синтеза синтетических многоагентных систем (в конкретном случае – прецедентов) позволяет создать наборы синтетических многоагентных систем практически любого объема, устранить несбалансированность классов в обучающих выборках, увеличивая количество синтетических прецедентов для малопредставленных классов (так, например, для автономных необитаемых подводных аппаратов количество реально зафиксированных прецедентов исчисляется единицами), игнорировать малозначимые и слабо неинформативные признаки, что способствует исключению эффекта переобучения.

Существенной особенностью рассматриваемого процесса аугментации является разнородность агентов, образующих многоагентную систему, которая может полностью описываться только их совокупностью. Действительно, прецедент, как удачный пример

многоагентной гетерогенной системы, представляется логико-лингвистической моделью в виде агентов, статус объектов описывается целым кортежем, включающим как числовые, так и описательные переменные, классы задач могут формализовываться иерархической структурой с глубиной до 3-4 уровней и др. Вместе с тем, подбирая для каждой сущности соответствующую измерительную шкалу, и, далее, варьируя значениями атрибутов на таких измерительных шкалах, можно получать различные синтетические прецеденты в виде экземпляров логико-лингвистической модели их представления.

Никаких ограничений на использование метода для многоагентных гомогенных систем не существует.

Вместе с тем разработанный метод аугментации обладает и известным недостатком для всех синтетических данных – отсутствием доказательства их репрезентативности. Ситуация исправляется только путем интеграции предлагаемого подхода со специализированной экспертной системой с экспертизой как правильности решений в синтетических прецедентах, так и ожидаемого эффекта. Указанное, однако, является темой отдельного исследования.

Заключение

Традиционный подход к получению синтетических данных известными методами аугментации изображений неприменим к многоагентным гетерогенным системам, образованных агентами, представляющими различные сущности, описывающие отдельные важнейшие свойства прецедента группового управления, природу которых составляют физические объекты, элементы стратегий поведения группы, внешняя среда, содержащая средства противодействия и др.

Для таких целей разработан новый метод с названием «шкальная аугментация». Суть метода заключается в выделении в многоагентной системе составляющих ее агентов и их атрибутов, определении измерительных шкал, соответствующих сущности агента, задании на этой шкале границ изменения значений атрибутов, исходя из особенностей практической задачи и варьирования значениями атрибутов по правилам шкалирования с получением синтетического экземпляра (реализации) многоагентной гетерогенной системы.

Использование метода шкальной аугментации продемонстрировано на примере получения синтетических прецедентов группового управления. При этом с использованием логико-лингвистической модели группового прецедента выделены шесть видов агентов, для каждого их них подобрана соответствующая физической и информационной природе измерительная шкала, целенаправленное варьирование значениями атрибутов на которых позволят получить практически неограниченное количество синтетических прецедентов группового управления в виде экземпляров логико-лингвистической модели их представления.

Дальнейшее развитие предлагаемого подхода планируется в направлении разработки «генератора синтетических прецедентов», совмещенного с экспертной системой для подтверждения адекватности синтетических прецедентов с последующей их фиксацией в виде записи специализированной базы данных, из которых можно будет формировать обучающие выборки.

Список источников

1. Абросимов В.К., Седов А.Н. Эффективность выполнения коллективной миссии многоагентной гетерогенной группой // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. №1(231). С. 6-19.
2. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. №2. С. 45-57.

3. Городецкий В.И., Бухвалов О.Л., Скоболев П.О. Современное состояние и перспективы индустриальных применений многоагентных систем // Управление большими системами. 2017. №66. С. 94-157.
4. Топчий А.В. Ассоциативная мультиагентная система // Перспективы развития информационных технологий. 2012. №10. С. 44-50.
5. Абросимов В.К., Матвеева Ю.Н. Формирование синтетических данных для машинного обучения распознаванию подводных объектов // Робототехника и техническая кибернетика. 2023. Т.11. №4. С. 256-266.
6. Андриянов Н.А., Андриянов Д.А. О важности аугментации данных при машинном обучении в задачах обработки изображений в условиях дефицита данных // Информационные технологии и нанотехнологии: материалы VI Междунар. конф. (Самара, 2020, 26-29 мая). В 4 т. Т.2 / Под ред. В.В. Мясникова. Самара: СНИУ им. С.П. Королева, 2020. С. 383-388.
7. Гайер А.В., Шешкус А.В., Чернышова Ю.С. Аугментация обучающей выборки «на лету» для обучения нейронных сетей // Труды Института системного анализа РАН. 2018. Т.68. №S1. С. 150-157.
8. Емельянов С.О., Иванова А.А., Швец Е.А., Николаев Д.П. Методы аугментации обучающих выборок в задачах классификации изображений // Сенсорные системы. 2018. Т.32. №3. С. 236-245.
9. Афанасьев Д.Ю. Применение аугментации для улучшения качества классификации // StudNet. 2022. Т.5. №4. С. 2397-2411.
10. Бабкина Л.Н., Скотаренко О.В. Применение квалиметрического подхода в управлении региональной экономикой // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2013. №4(175). С. 45-52.
11. Белый В.М. Принципы квалиметрии и оценка эффективности информационных систем и технологий // Прикладная информатика. 2013. №3(45). С. 111-121.
12. Леденева Т.М., Моисеев С.А. Формализация свойств интерпретируемых лингвистических шкал и термов нечетких моделей // Прикладная информатика. 2012. №4(40). С. 126-132.
13. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с.
14. Михайлова Е.С. Логико-лингвистическая модель группового прецедента // Управление развитием крупномасштабных систем: труды 17-й междунар. конф. (Москва, 2024, 24-26 сентября). М.: ИПУ РАН, 2024. С. 1124-1131.
15. Абросимов В.К., Гайдин М.В. Имитационная модель формирования ситуационной осведомленности группой автономных роботов в условиях потенциальных угроз // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. №1(203). С. 49-61.
16. Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В., Солдатов С.А. Гетерогенные интеллектуальные компьютерные системы поддержки принятия решений: модели координации и согласованности // Системы и средства информатики. 2015. Т.25. №2. С. 96-110.
17. Спасский Б.А. Автономные безэкипажные корабли военного и двойного назначения // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. №3(4). С. 9-16.

Информация об авторах

В.К. Абросимов – доктор технических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 7439-7007.
Д.М. Покровский – ORCID-идентификатор автора 0009-0005-1196-0255.