

УДК 004.82

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ЗАДАЧАХ СОГЛАСОВАННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУППЫ БПЛА

А.И. Панов (*pan@isa.ru*)Федеральный исследовательский центр «Информатика и
управление» Российской академии наук, Москва

Аннотация. В статье рассматриваются особенности представления пространственных и временных знаний автономными агентами в случае их коллективного взаимодействия на примере задачи согласованного перемещения группы беспилотных летательных аппаратов. Предлагается знаковый подход к описанию знаний агента, основанный на психологической теории деятельности и биологически правдоподобной иерархической модели распознавания. В предлагаемом подходе к представлению знаний необходимым образом используются как описания действий, так и процессы обучения на основе поступающей первичной информации. Приводится пример работы предлагаемого подхода в задаче совместного преодоления препятствий группой БПЛА.¹

Ключевые слова: представление знаний, знак, иерархия автоматов, когнитивные процессы, группа БПЛА.

Введение

Представление пространственных и временных знаний в задачах достижения общей цели группой автономных технических объектов, в том числе и беспилотных летательных аппаратов, обладает существенной спецификой по сравнению с описанием таких знаний для отдельного агента. Одним из существенных моментов является возможность коммуникации, то есть возможность передачи части собственных знаний агента с использованием некоторого протокола. Содержание сообщений, передаваемых с помощью такого протокола, должно быть представлено в форме, независимой от набора и свойств сенсоров, которыми обладают агенты, обменивающиеся сообщениями. Из данного свойства протокола обмена сообщениями вытекает следующая особенность: только некоторая часть представлений агента о пространственных и временных свойствах

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-07-31194 мол_a).

среды должна быть коммуницируема и, по возможности, согласована с остальными участниками группы.

Ключевой особенностью модели представления знаний о пространстве и времени, которая будет рассматриваться в данной работе, является включение процесса обучения, то есть способность к построению отдельных элементов знания на основе поступающей сенсорной информации. Привязка элементов знания к реальным объектам и свойствам внешнего мира должна существенно повысить как эффективность, так и выразительную способность такой модели. Стоит отметить, что проблема привязки символов или проблема символизации (*symbol grounding problem*) поднимается достаточно давно [Harnad, 1990; Barsalou, 1999], однако роль обучения в рамках этой проблемы недооценивается.

В настоящей работе предлагается знаковый подход к построению модели представления пространственных и временных знаний агентов, участвующих в решении некоторой общей задачи на перемещение. Такая модель далее будет называться знаковой пространственно-временной картиной мира. Понятие знака формализуется на основе культурно-исторического подхода Выготского [Выготский, 2005] и теории деятельности Леонтьева [Леонтьев, 1975], которые позволяют раскрыть роль и функции знака в представлении знаний и в процессах обмена информацией. Для привязки знака к реальным объектам и свойствам среды (к денотатам знака) предлагается использовать специальный процесс обучения, результатом которого является готовая система распознавания, описываемая в терминах теории автоматов. В заключение статьи приводится модельный пример использования знакового представления знаний для согласованного перемещения группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

1 Существующие подходы к представлению знаний о пространстве и времени

Моделей представления пространственных знаний для навигации, построения карты местности, планирования траекторий и других подобных задач существует большое количество. Многие из них создаются для решения частных практических задач и не претендуют на какую-либо универсальность. Другие модели, как например, широко известная модель 4D/RCS [Albus et al., 2007], применяются только для отдельных автономных технических объектов и в них не учитываются те особенности представления знаний, о которых говорилось во введении. Существующие модели представления пространственных и временных знаний, применимые в условиях группового взаимодействия, такие как

групповое расширение модели 4D/RCS [Яковлев и др., 2014], обычно не учитывают проблему привязки элементов знания к внешней среде и не подразумевают какого-либо сложного обучения, кроме манипуляции известными символами для составления карты местности.

Среди имеющихся работ стоит отметить близкую к настоящей статье работу Д. Роя [Roy, 2005], посвященную проблеме привязанного к внешней среде представления знаний, в том числе и пространственного характера. Рой использует идею знакового представления, где знак используется не в психологическом, а в философском смысле [Пирс, 2000]. Для описания объектов, действий и ситуаций используются так называемые схемы (см. для примера рис. 1). Схема согласуется с результатом обработки сенсорной информации (распознавание категорий) и с помощью определенных с помощью неё действий обновляет представления агента о внешней среде и одновременно производит изменения в этой среде.

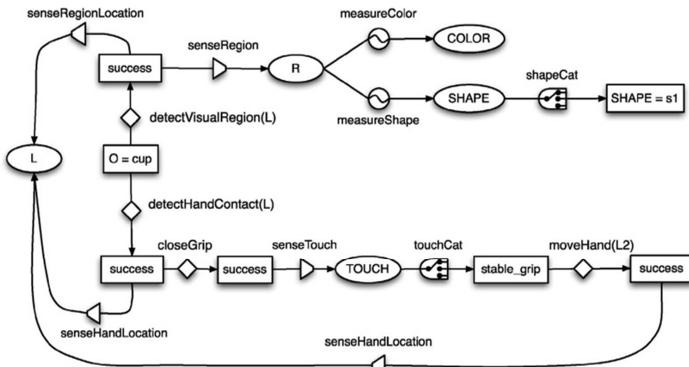


Рис. 1. Схема объекта чашка (cup) [Roy, 2005], для которого с помощью перцептивных процедур (detect, measure) определены свойства цвета (COLOR) и формы (SHAPE), а также определены действия по перемещению (Grip и move), зависящие от текущего положения чашки (L).

С помощью таких схем Рою удастся описать процесс коммуникации агентов, когда агент, имеющий привязку некоторого символа к внешней среде, сообщает информацию об этом символе другому агенту, не имеющему средств к проверке такой привязки. Несмотря на успешную реализацию на работе-манипуляторе, оперирующем объектами на столе, поход Роя обладает существенными недостатками. Во-первых, не используются процессы обучения, то есть все схемы задаются разработчиком, хотя и привязываются с помощью заранее известных сенсорных входов. Во-вторых, количество используемых Роем

пространственно-временных отношений довольно ограничено (отношения «содержится в», «соприкасается с», «предшествует»).

Стоит отметить, что в таких работах как [Herskovits, 1997; Kuipers, 2000; Allen, 1983] количество описываемых отношений, с помощью которых задаются такие свойства как топология, взаимное расположение, расстояние, относительное движение, следование во времени, пересечение во времени и др., намного больше и большинство из них необходимы для описания пространственного движения, более сложного, чем ограниченного движение манипулятора над столом.

В настоящей работе для задания пространственных и временных отношений, не зависящих от сенсорной привязки, используются подходы, разрабатываемые в рамках теории ситуационного управления [Поспелов, 1986]. Поспеловым и его учениками предложен ряд псевдофизических логик, задающих достаточно широкий спектр отношений, которые полностью покрывают все случаи, возникающие в задаче двумерного пространственного перемещения агентов. Логический подход позволяет не только описывать ситуацию, но и делать вывод, с помощью которого можно предсказывать следующие состояния системы и пополнять знания без наличия актуальной сенсорной информации.

2 Когнитивный подход к представлению пространственно-временных знаний

Предлагаемая модель знаковой пространственно-временной картины мира опирается на работы прикладной семиотики [Осипов и др., 1999] и на формальное определения знака, предложенное в работах Осипова и коллег [Осипов и др., 2014; Осипов и др., 2015]. Знаковая картина мира позволяет строить модели высших когнитивных функций человека [Чудова, 2012], в том числе и сложных процессов коммуникации (например, в которых различаются операциональное и референтное значения сообщения), и применима в задачах управления БПЛА [Зубарев и др., 2013].

Знак s как элемент картины мира, опосредующий некоторый объект или свойство внешней среды, включает в себя четыре компоненты: имя n , образ p (процедура распознавания и категоризации объекта или свойства), значение m (согласованные в группе агентов роли данного объекта или свойства в общеизвестных действиях) и личностный смысл a (роль данного объекта или свойства в собственных действиях агента). В настоящей работе для описания пространственно-временной картины мира будут использоваться только имена, образы и значения знаков.

Пространственные и временные отношения определяются на множестве знаков, а точнее на именах знаков. Отношения на множестве

имен транслируются с отношений на множествах компонент знаков. На множествах рассматриваемых нами компонент (образов и значений) удастся определить свои семейства отношений [Осипов и др., 2014; Панов, 2012], такие как: отношения сходства, противопоставления, ситуационные и сюжетные отношения.

2.1 Распознающие автоматы

Для привязки знаков к опосредуемым объектам внешней среды используются распознающие автоматы [Панов, 2014]. Специальным образом определенная иерархия таких автоматов позволяет описать как процесс категоризации (распознавания) знака, так и определить участие знака в действиях агента [Осипов и др., 2015].

Каждый автомат R уровня иерархии i получает на вход последовательность векторов действительных чисел от 0 до 1 с нижнего уровня иерархии. Входной вектор длины q представляет собой веса входных признаков F , участвующих в распознавании выходных признаков F^* . В начальный момент работы автомата поступает управляющий вектор с верхнего уровня иерархии, задающий предсказание значений весов выходного вектора, которые должны получиться после завершения работы распознающего автомата (через время h). В каждый момент времени t распознающий автомат вычисляет текущий весовой вектор выходных признаков длины l и управляющий вектор на нижний уровень иерархии длины q . Автоматы связаны иерархическим отношением, если выходные признаки (возможно, не все) дочернего автомата участвуют в распознавании выходных признаков родительского автомата (являются для последнего входными).

Состояние автомата R задается множеством битовых матриц предсказания Z размерности q на h . Каждому выходному признаку f^* соответствует свой набор матриц предсказания, в которых в столбце t единицы соответствуют необходимым для распознавания f^* в момент времени t входным признакам. Если с помощью некоторой процедуры A множество столбцов всех матриц распознавания для признака f_p разделяется на множество столбцов, содержащих всегда предшествующие признаки (условия), и множество столбцов, содержащих всегда последующие признаки (эффекты), то такой признак f_p называется процедурным и опосредует действия и процессы.

Если между множеством знаков и множеством признаков, распознаваемых всеми автоматами иерархии, установлено взаимно-однозначное соответствие (именование), то компоненты знака определяются следующим образом. Образом знака s , соответствующего признаку f , является множество всех признаков, участвующих в распознавании признака f . Значением знака s , соответствующего признаку

f , является множество всех процедурных признаков, условия которых распознаются с помощью признака f .

2.2. Формирование состояний распознающего автомата

Привязка знака к внешним объектам и процессам осуществляется за счет того, что входными признаками распознающих автоматов нижнего уровня иерархии являются данные, поступающие с сенсоров. Формирование состояний автомата в процессе наблюдения агента происходит с помощью специального алгоритма обучения НТМ [George et al., 2009; Панов и др., 2015]. НТМ использует нейрофизиологические данные о строении некоторых участков коры головного мозга для формирования биологически правдоподобной схемы на формальных нейронах, либо с использованием марковских цепей и алгоритмов иерархической кластеризации. К основным принципам работы НТМ относятся: использование иерархии вычислительных узлов с восходящими и нисходящими связями, использование Хэббовских правил обучения, разделение пространственного и временного группировщиков, подавление активации для формирования разреженного представления.

Формируемые в результате работы алгоритма НТМ связи между компонентами вычислительного узла в рамках двух связанных иерархической связью узлов задают матрицу предсказания для некоторого выходного признака в модели распознающих автоматов.

3 Модельная задача

В качестве иллюстративного примера использования предлагаемой модели представления пространственных и временных знаний опишем модельную задачу по перемещению группы БПЛА на местности с различными типами препятствий. Пусть имеются два агента A_1 и A_2 , располагающиеся в координатах (x_1, y_1) и (x_2, y_2) , соответственно. Агент A_1 обладает способностью разрушать препятствия типа C и большими размерами r_1 , не позволяющими ему напрямую построить траекторию в целевую зону G с координатами (x_G, y_G) . Агент A_2 обладает способностью разрушать препятствия типа B и небольшими размерами r_2 , позволяющими ему напрямую построить траекторию до целевой зоны G (рис. 2). Карта полностью наблюдаема и доступна обоим агентам.

Агенты в своей картине мира опосредуют действия по перемещению знаками s_i (признаками f_i , t – тип перемещения), которым соответствуют матрицы предсказания типа Z_t , состоящие из трёх столбцов $z_1=(l_x, I)$, $z_2=(l_y, d_u, E)$ и $z_3=(l_y, I, t_v)$, где l_x, l_y – признаки, соответствующие категории расстояния в пространственной логике [Поспелов, 1986] (например, *вплотную, близко, далеко* и др.), d_u – признак, соответствующий категории

направления в пространственной логике (например, *вперед*, *слева* и др.), t_v – признак, соответствующий категории времени во временной логике [Поспелов, 1986] (например, *скоро*, *в будущем* и др.), I – признак присутствия самого агента, E – признак отсутствия препятствия. В матрице типа Z_t столбцы z_1 и z_2 являются столбцами условий, а столбцы z_3 – столбцом эффектов.

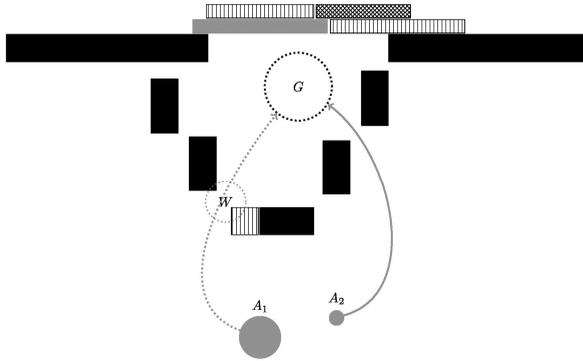


Рис. 2. Карта модельной задачи. Черные и серые прямоугольники – не разрушаемые препятствия (тип A), с вертикальной штриховкой – разрушаемые агентом A_2 (тип B), со штриховкой в клетку – разрушаемые агентом A_1 (тип C). Целевая область G напрямую достижима агентом A_2 и не достижима агентом A_1 .

Всем признакам из образа знака s_t в свою очередь соответствуют свои матрицы распознавания, полученные в результате обучения в процессе наблюдения агента за средой. В результате этого обучения и формируются дискретные категории расстояния, направления и времени, такие как: *слева*, *скоро*, *близко* и т.п.

В процессе планирования агент строит некоторый план по достижению цели G для чего необходимо выполнить действие $s_i(1)$ (в котором, например, l_x – вплотную, l_y – далеко (категоризация расстояния между точками (x_1, y_1) или (x_2, y_2) и (x_G, y_G)), d_u – вперед, t_v – скоро). Если для агентов доступны только действия типа $s_i(2)$ (l_x – вплотную, l_y – очень близко, d_u – вперед, слева и т.п., t_v – очень скоро), то происходит построение плана по перемещению, в котором строится последовательность из действий типа $s_i(2)$.

В случае агента A_1 в виду его больших размеров, на некотором этапе признак E будет отсутствовать и условие очередного действия $s_i(2)$ не будет выполнено. В таком случае, если агенту A_1 доступно некоторое действие по передаче сообщения, то в план может быть включена посылка информации агенту A_2 о препятствии в области W (см. рис. 2). Если у агента A_2 имеется знак, опосредующий агента A_1 (представление о другом

агенте), в образ которого входит его положение, то агент A_2 сможет построить план по перемещению в область W и устранению препятствия.

В протоколе коммуникации сообщения не включают информацию об образах, используемых в сообщении знаков, которые могут не совпадать у агентов A_1 и A_2 (различные матриц предсказания одних и тех же признаков в виду несовпадения процессов обучения). За счет согласованности значений этих знаков (общее множество доступных действий), информация в сообщении может быть интерпретирована адресатом.

4 Заключение

Представление пространственных и временных знаний в задаче совместного взаимодействия группы агентов (беспилотных летательных аппаратов) имеет свою специфику. В статье предлагается знаковая модель пространственно-временной картины мира, которая позволяет с помощью специального алгоритма обучения осуществить привязку используемых элементов знания к реальным объектам и свойствам среды, а также позволяет агентам обмениваться сообщениями с согласованием только некоторой части доступной информации. Приводится модельная задача, иллюстрирующая возможности и область применения предложенного подхода.

Список литературы

- [Выготский, 2005] Выготский Л. С. Психология развития человека.— М. : Издательство Смысл, 2005.— С. 1136.
- [Зубарев и др., 2013] Принципы построения многоуровневых архитектур систем управления беспилотными летательными аппаратами / Д. В. Зубарев, Д. А. Макаров, А. И. Панов, К. С. Яковлев // *Авиакосмическое приборостроение*.— 2013.— № 4.— С. 10–28.
- [Леонтьев, 1975] Леонтьев А. Н. Деятельность. Сознание. Личность.— М. : Политиздат, 1975.
- [Осипов и др., 1999] Осипов Г. С., Поспелов Д. А. Прикладная семиотика // *Новости искусственного интеллекта*.— 1999.— № 1.— С. 9–35.
- [Осипов и др., 2014] Осипов Г. С., Панов А. И., Чудова Н. В. Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание // *Известия РАН. Теория и системы управления*.— 2014.— № 4.— С. 83–96.
- [Осипов и др., 2015] Осипов Г. С., Панов А. И., Чудова Н. В. Управление поведением как функция сознания. II. Синтез плана поведения // *Известия РАН. Теория и системы управления*.— 2015.— № 5.
- [Панов, 2012] Панов А. И. Семейства отношений в знаковой картине мира // *Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ–2012 (16–20 октября 2012г., г. Белгород, Россия): Труды конференции*.— Белгород : Издательство БГТУ, 2012.— С. 301–309.

- [**Панов, 2014**] Панов А. И. Алгебраические свойства операторов распознавания в моделях зрительного восприятия // Машинное обучение и анализ данных.— 2014.— № 7.— С. 863–874.
- [**Панов и др., 2015**] Панов А. И., Петров А. В. Иерархическая временная память как модель восприятия и её автоматное представление // Системный анализ и информационные технологии: труды VI Международной конференции: в 2т.— Т. 1.— Светлогорск, Россия, 15–20 июня 2015 г. : Издательство КалГУ, 2015.
- [**Пирс, 2000**] Пирс Ч. С. Начала прагматизма. Т. 2. Логические основания теории знаков.— СПб. : Алетейя, 2000.
- [**Поспелов, 1986**] Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика.— М. : Наука, 1986.— С. 288.
- [**Чудова, 2012**] Чудова Н. В. Концептуальное описание картины мира для задачи моделирования поведения, основанного на сознании // Искусственный интеллект и принятие решений.— 2012.— № 2.— С. 51–62.
- [**Яковлев и др., 2014**] Система навигации группы БЛА на основе маркеров / К. С. Яковлев, В. В. Хитыков, М. И. Логинов, А. В. Петров // Робототехника и техническая кибернетика.— 2014.— № 3.— С. 44–48.
- [**Albus et al., 2007**] Albus J., Barbera A. 4D/RCS reference model architecture for unmanned ground vehicles // Intelligent Vehicle Systems: A 4D/RCS Approach. — Nova Science Publishers, Inc., 2007. — P. 1–30.
- [**Allen, 1983**] Allen J. F. Maintaining knowledge about temporal intervals // Communications of the ACM. — 1983. — Vol. 26, no. 11. — P. 832–843.
- [**Barsalou, 1999**] Barsalou L. W. Perceptual symbol systems // The Behavioral and brain sciences. — 1999. — Vol. 22, no. 4. — P. 577–609; discussion 610–660.
- [**George et al., 2009**] George D., Hawkins J. Towards a Mathematical Theory of Cortical Micro-circuits // PLoS Computational Biology. — 2009. — Vol. 5, no. 10. — P. 1–26.
- [**Harnad, 1990**] Harnad S. Symbol Grounding Problem // Physica D. — 1990. — Vol. 42. — P. 335–346.
- [**Herskovits, 1997**] Herskovits A. Language, Spatial Cognition, and Vision // Spatial and Temporal Reasoning / Ed. by O. Stock. — Springer, 1997. — P. 155–202.
- [**Kuipers, 2000**] Kuipers B. Spatial semantic hierarchy // Artificial Intelligence. — 2000. — Vol. 119, no. 1. — P. 191–233.
- [**Roy, 2005**] Roy D. Semiotic schemas: A framework for grounding language in action and perception // Artificial Intelligence. — 2005. — Vol. 167, no. 1-2. — P. 170–205.