**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»**

А. И. Панов

Интеллектуальные динамические системы

Учебно-методическое пособие

**Москва
Российский университет дружбы народов
2015**

В пособии рассмотрены основные методы, применяющиеся при построении интеллектуальных динамических систем (ИДС). Одним из основных свойств ИДС является свойство иерархичности, уровневости организации всех процессов, связанных с ИДС, начиная от управления такими системами и заканчивая процессами самоорганизации в их базе знаний.

Оглавление

Введение

Динамические интеллектуальные системы — результат интеграции интеллектуальных систем с динамическими системами. В общем случае это двухуровневые динамические модели, где один из уровней отвечает за стратегию поведения системы (или, как иногда говорят, носит делиберативный характер), а другой уровень отвечает за реализацию конкретной (в том числе, математической) модели.

К таким системам относятся сложные естественные системы, такие как экологические, социальные и политические системы, а также такие динамические системы, в которых зависимости настолько сложны, что не допускают своего обычного аналитического представления. Сложность задач управления, в которых существенная роль принадлежит экспертным суждениям и знаниям человека, заставляет в дополнение к количественным методам или вместо них применять такие подходы, в которых в качестве значений переменных допускаются не только числа, но и слова или предложения искусственного или естественного языка.

Потребность в моделях такого рода назрела в связи с развитием, например, беспилотных средств транспортного и иного назначения. В частности, в беспилотных автономных самолетах и вертолётах одним из уровней управления должен являться делиберативный уровень управления, решающий задачи, например, планирования полёта или выбора траектории или выбора цели. Другой уровень управления — назовем его активным — реализует требуемые действия. Например, на делиберативном уровне управления беспилотным вертолётом принимается решение о зависании над целью, тогда на активном уровне начинает работать математическая модель зависания, вырабатывающая требуемые управления для исполнительных механизмов.

Глава 1

Представление статических знаний

1.1 Логика предикатов первого порядка

Одним из наиболее изученных формальных языков является язык исчисления предикатов первого порядка. Существуют работы, где язык исчисления предикатов рассматривается как язык представления знаний, однако, это не главное его назначение и мы будем использовать его, главным образом, в качестве средства описания элементов конструкций других языков, более ориентированных на представление знаний.

Опишем вначале основные конструкции языка исчисления предикатов первого порядка и их интерпретацию в духе [1; 2].

1.1.1 Описание языка

Основные конструкции языка L – языка исчисления предикатов первого порядка называются формулами. Введем вначале *алфавит* языка L. Алфавит включает:

1. Счетное множество букв: $z, y, x, \ldots$, которое будем называть множеством символов для обозначения переменных языка.

2. Счетное множество букв $a, b, c, \ldots$, которое будем называть множеством символов для обозначения констант языка.

3. Счетное множество прописных букв $P, Q, \ldots$ для обозначения предикатных символов языка.

4. Счетное множество строчных букв $f, g, \ldots$ для обозначения функциональных символов.

5. Символы для логических связок $\rightarrow$ (влечет), $\neg$ (не).

6. Символ для квантора $\forall$ (для любого);

7. (,) — скобки.

Предикатные буквы $P, Q, \ldots$ и функциональные буквы $f, g, \ldots$ могут быть n-местными или, как еще говорят, n-арными. Иначе говоря, с каждым предикатным или функциональным символом будем связывать некоторое натуральное число, равное числу его аргументов.

Определим теперь понятие формулы или правильно построенного выражения языка исчисления предикатов первого порядка. *Формулы* языка определяются индуктивным образом. Начнем с определения *терма* языка:

1. Переменная есть терм.

2. Константа есть терм.

3. Если $t_1, t_2, \ldots, t_m, \ldots, t_n$ — термы, а f и g — функциональные символы арности m и n, соответственно, то $f(t_1, t_2, \ldots, t_m)$ и $g(t_1, t_2, \ldots, t_n)$ также термы.

4. Если $t_1, t_2, \ldots, t_m, \ldots, t_n$ — термы, а P и Q — предикатные символы арности m и n, соответственно, то $P(t_1, t_2, \ldots, t_m)$ и $Q(t_1, t_2, \ldots, t_n)$ — атомарные формулы.

5. Атомарная формула есть формула.

6. Если A, B — формулы, то $(A \to B)$, $\neg A$, $\neg B$ — формулы.

7. Если A — формула, то $\forall x A$ — формула.

8. Всякое слово в алфавите языка является формулой тогда и только тогда, когда это можно показать с помощью конечного числа применений п.п. 1-7.

Таким образом, мы завершили одно из возможных определений языка исчисления предикатов первого порядка. Существуют и другие определения, однако, язык, определенный нами, является полным, т. е. в нем выразимо все то, что выразимо в языках (исчисления предикатов первого порядка), определенных любым иным способом.

Можно, например, определить логические связки $\wedge, \vee$(читается *и* и *или*), выразив их через связки $\to$ и $\neg$:

- $A \wedge B = \neg(A \to \neg B)$,

- $A \vee B = \neg A \to B$.

Квантор существования — $\exists$ (существует) также выражается через квантор всеобщности и отрицание: $\exists x A(x) = \neg \forall x \neg A(x)$.

Разумеется, $\wedge$, $\vee$ и $\exists$ с тем же успехом можно было бы включить в язык в качестве трех дополнительных символов. Есть, однако, некоторые преимущества в том, чтобы сохранить список символов как можно более коротким. Например, индуктивные определения и доказательства по индукции оказываются в этом случае короче.

В дальнейшем нам придется использовать понятия *свободного* и *связанного* вхождения переменной в формулу. Вхождение переменной x в формулу A называется связанным, если эта переменная следует за квантором существования или всеобщности, предшествующими формуле A. В противном случае, вхождение переменной называется свободным. Если в формуле A отсутствуют свободно входящие в нее переменные (т. е. либо все переменные связаны, либо просто отсутствуют), то формула называется *замкнутой формулой* или *предложением*. Атомарную замкнутую формулу будем называть *фактом*. В том случае, если язык состоит только лишь из предложений, то он называется пропозициональным языком, а буквы $A, B, \ldots$, входящие в формулы этого языка — пропозициональными переменными.

1.1.2 Основные понятия исчисления

Рассмотрим вкратце основные понятия исчисления предикатов первого порядка.

Введем вначале аксиомы исчисления предикатов:

1. $A \to (B \to A)$,
2. $(A \to (B \to C)) \to ((A \to B) \to (A \to C))$,
3. $(\neg A \to \neg B) \to (B \to A)$.

А затем правила вывода:

Правило отделения: если выводимо A и выводимо $A \to B$, то выводимо B.

Правило подстановки: в любую аксиому на место любой пропозициональной переменной можно подставить любое предложение, предварительно переименовав пропозициональные переменные подставляемого предложения так, чтобы они не совпадали с пропозициональными переменными аксиомы.

Если в аксиомах 1 – 3 все переменные являются пропозициональными, то такое исчисление называется *пропозициональным исчислением* или *исчислением высказываний.*

Рассмотрим пример вывода в исчислении высказываний. Возьмем, например, три закона логики, сформулированные Аристотелем и называемые постулатами Аристотеля. В языке исчисления высказываний они записываются следующим образом: Пусть P — пропозициональная переменная исчисления высказываний.

Постулат 1 (закон тождества): $P \to P$.

Постулат 2 (закон исключения третьего): $P \vee \neg P$.

Постулат 3 (закон противоречия): $\neg(P \wedge \neg P)$.

Докажем один из постулатов, например закон тождества. Используем аксиому 1 и правило подстановки (вместо B подставим $P \to P$) и получим $A \to ((P \to P) \to A)$. Из аксиомы 2:

$$(A \to ((P \to P) \to C)) \to ((A \to (P \to P)) \to (A \to C)).$$

Теперь вместо A и C подставим P:

$$\underbrace{(P \to ((P \to P) \to P))}_{X} \to \underbrace{((P \to (P \to P)) \to (P \to P))}_{Y}.$$

Затем применим правило отделения: та часть последней формулы, которая обозначена через X является аксиомой, т. е. выводима, тогда в силу правила отделения, выводима формула, обозначенная через Y. Теперь применим правило отделения к Y:

$$\underbrace{(P \to (P \to P))}_{X'} \underbrace{\to (P \to P)}_{Y'}.$$

и, рассуждая таким же образом, получим, что Y' — выводимо. Таким образом, закон тождества Аристотеля является *теоремой* исчисления высказываний. Действуя таким же образом, можно доказать, что второй и третий постулаты Аристотеля также являются *теоремами* исчисления высказываний.

Однако, исчисление предикатов первого порядка не исчерпывается приведенными выше тремя аксиомами и правилами вывода. Смысл кванторов устанавливается еще двумя аксиомами и одним правилом вывода.

5. $\forall x((A \to B) \to (A \to \forall x B))$, где x не является свободной переменной в A;

6. $\forall t A(t) \to A(x)$, где t — терм, а x не содержится в t в качестве свободной переменной.

Четвертая аксиома называется аксиомой генерализации, а вторая — аксиомой спецификации.

Правило обобщения: $A \to \forall x A$, где x — свободная переменная в A.

Аксиомы 1–6 исчисления предикатов первого порядка (или математической логики первого порядка) называются *логическими* аксиомами, они описывают логические законы, справедливые всегда, независимо от предметной области. Если же к аксиомам 1–6 добавить еще и аксиомы, описывающие некоторую предметную область, например, арифметику или теорию групп, то получим *формальную теорию* — формальную арифметику или формальную теорию групп, соответственно. При этом, разумеется, в алфавит языка следует ввести специальные функциональные символы, такие как сложение в арифметике или умножение в теории групп.

Словосочетание «первый порядок» относится исключительно к тому обстоятельству, что кванторы $\forall$ и $\exists$ действуют на некотором универсальном множестве U. Логика второго порядка разрешает одному из кванторов действовать на подмножествах множества U и на функциях из степеней U в U. Логика третьего порядка может использовать кванторы по множествам функций и т. д. Уже из этих разъяснений видно, что в логиках более высоких порядков (как говорят, более сильных логиках) используются и некоторые нелогические понятия, такие как множество.

1.1.3 Формальные системы и интпретация

Будем полагать, что если заданы некоторый алфавит, множество формул, множества аксиом и правил вывода, тотем самым задана некоторая формальная система. Иначе говоря, формальная система F представляет собой совокупность следующих объектов:

$$F = \langle T, , , \Pi \rangle,$$

где T — конечное множество символов; P — множество правил грамматики, применение которых к символам из T, позволяет строить правильно построенные формулы; — множество аксиом; Π — множество правил вывода.

Если среди аксиом имеются нелогические аксиомы (аксиомы, описывающие некоторую предметную область), то формальная система называется *формальной теорией.*

Определение 1 *Выводом (или доказательством) в формальной системе называется конечная последовательность правильно построенных формул*

$$A_1, A_2, \ldots, A_n,$$

таких что каждая из формул последовательности либо является аксиомой либо получена из предыдущих формул последовательности с использованием аксиом и правил вывода.

Формула A_n в этом случае называется *выводимой формулой* (или *теоремой*) формальной системы F.

1.2 Атрибутивная логика

1.3 Семантические сети

Глава 2

Представление процедурных знаний

2.1 Системы правил

2.2 Семиотическое представление

Глава 3

Пополнение знаний

3.1 Проблема привязки символов

3.2 Биологически правдоподобные методы

3.3 Выявление причинно-следственных связей

Глава 4

Планирование поведения

4.1 Классические алгоритмы планирования

4.1.1 Планирование как доказательство теорем

4.1.2 Планирование в пространстве состояний

4.1.3 Планирование на основе прецедентов

4.2 Планирование с удовлетворением ограничений

4.3 Графические системы планирования

Глава 5

Системы, основанные на правилах

5.1 Состояния и траектории

5.2 Синтез управления

5.3 Синтез обратной связи

5.4 Основы теории управляемости

Глава 6

Практические задания в системе Jadex

6.1 Задачи с международного соревнования планировщиков

Ниже представлен список задач с одного из треков одной из самых главных конференций по планированию — ICAPS за 2014г. Представленный трек из программы International Planning Competition 2014 включает в себя задачи по детерминированному планированию.

6.1.1 Бармен

Автор — Sergio Jiménez Celorrio.

Представим себе робота-бармена, который орудует дозаторами, стаканами и шейкером. Цель планировщика — построить план действий робота по приготовлению необходимого количества коктейлей. Необходимо учесть, что манипуляторы робота могут брать только один предмет за раз, а стаканы должны быть пустыми и чистыми, прежде чем их начинать заполнять.

6.1.2 Дайвинг в пещерах

Авторы: Nathan Robinson,Christian Muise, and Charles Gretton.

Представим себе группу дайверов, каждый из которых может переносить по 4 баллона с воздухом. Необходимо нанять этих дайверов для спуска в подводную пещеру. У них стоит задача фотосъемки либо задача доставки полных баллонов воздуха для подготовки спуска других дайверов. Пещера слишком узкая, чтобы пропустить более одного дайвера за раз.

Пещера является разветвленной и может быть представлена в виде ненаправленного ациклического графа. У всех дайверов единственная точка входа. Определенные конечные точки ответвлений пещеры являются целями для фотографирования. Как задача фотосъемки, так и обычного плавания расходуют воздух из баллонов. В конце дайверы должны покинуть пещеру и подняться на поверхность. Следовательно, они могут сделать только один спуск в пещеру.

Некоторые дайверы не уверены в других и будут отказываться работать, если кто-то из них не работал прежде со своим коллегой. Стоимость оплаты труда дайвера обратно пропорциональна количеству времени, которое они тратят на работу.

6.1.3 Детская закуска

Авторы: Raquel Fuentetaja, Tomás de la Rosa Turbides.

Задача состоит в том, чтобы приготовить и подать бутерброды группе детей, у некоторых из которых аллергия на глютен. Есть два действия по приготовлению бутербродов из их ингредиентов. Первое из них готовит один бутерброд, а второй делает то же, но с учетом того, что все ингредиенты должны быть без глютена. Есть также действия положить один бутерброд и подать несколько бутербродов.

В начальных условиях даны ингредиенты для приготовления бутербродов. Цели заключаются в обслуживании детей бутербродами, к которым у них нет аллергии.

6.2 Внешняя среда и типы агентов

6.3 Задание состояний

6.4 Задание правил и стратегий

6.5 Планирование поведения

6.6 Задачи по планированию

Заключение

Немного о итогах курса

Список литературы

1. *Кейслер Г.*, *Чен Ч. Ч.* Теория моделей. — М. : Мир, 1977.
2. *Клини С.* Математическая логика. — М. : Мир, 1973.