



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 112 за 2017 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Давыдов О.И., Платонов А.К.

Робот и Искусственный
Интеллект.
Технократический подход

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Давыдов О.И., Платонов А.К. Робот и Искусственный Интеллект. Технократический подход // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 112. 24 с. doi:[10.20948/prepr-2017-112](https://doi.org/10.20948/prepr-2017-112)
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2017-112>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук**

О.И. Давыдов, А.К. Платонов

**Робот и Искусственный Интеллект.
Технократический подход**

Москва — 2017

Давыдов О.И., Платонов А.К.

Робот и Искусственный Интеллект. Технократический подход

В настоящей работе предлагается система Искусственного Интеллекта, которая может быть реализована и использована для управления поведением роботов. Искусственный Интеллект рассматривается как структура, состоящая из пяти компонентов. Знания рассматриваются как основной компонент, на котором базируются остальные четыре: Осмысление, Восприятие, Общение и Обучение. В данной работе также определены характеристики Памяти, важные с точки зрения робототехники. Описываются методы реализации такого подхода для создания системы управления мобильного робота РБ-2.

Ключевые слова: искусственный интеллект, робот, система управления, база данных, знания, осмысление, восприятие, общение, обучение.

Oleg Izmailovich Davydov, Alexandr Konstantinovich Platonov

Robot and Artificial Intelligence. Technocratic approach

The present work proposes a system of Artificial Intelligence, which can be implemented and used to control the behavior of robots. Artificial Intelligence is regarded as a structure consisting of five components. Knowledge is considered as a basis component, upon which the other four components are based: Comprehension, Perception, Communication and Learning. The paper also defines the Memory characteristics that are important from the point of view of robotics. Methods of implementing this approach for a control system for a mobile robot RB-2 are described.

Keywords: artificial intelligence, robot, control system, database, knowledge, comprehension, perception, communication, learning.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-08-06431) и РНФ (грант № 16-19-10705).

Оглавление

1. Введение	Ошибка! Закладка не определена.
2. Составляющие интеллекта робота	5
3. Знания.....	7
4. Осмысление	12
5. Память	15
6. Восприятие	16
7. Общение.....	18
8. Обучение.....	19
9. Поведение	20
10. Заключение	22
Список литературы	24

1. Введение

Наступает эпоха с новым технологическим укладом, одной из главных особенностей которого будет массовое применение роботов и других роботизированных машин, как в производственных процессах, так и в быту миллионов людей. Производители машин с высоким уровнем автоматизации все чаще стали называть их "интеллектуальными" и приписывать им свойства, которыми они в действительности не обладают. Конечно, это делается и в рекламных целях, но, как правило, это связано с непониманием и отсутствием единой терминологии в определении интеллекта.

В настоящей работе авторы пытаются определить состав и характерные признаки искусственного интеллекта, которые можно было бы использовать для оценки уровня интеллектуальности роботов. В первую очередь это необходимо разработчикам робототехники для согласованного понимания используемых терминов, для устранения разногласий и субъективных точек зрения на смысл этих терминов и, главное, для понимания содержания и устройства того, что было бы правомерным назвать интеллектом робота.

Мозг человека и современный компьютер принципиально отличаются друг от друга по способам функционирования, поэтому вопросы, связанные с изучением физиологических процессов в биологических организмах, которые формируют интеллект, в данной работе рассматриваться не будут. Однако нельзя создать искусственный интеллект, не определив сущность и свойства интеллекта естественного.

Многие исследователи пытались понять и определить, что такое интеллект. В работе [1] приведены более чем 70 определений интеллекта, которые были сформулированы и опубликованы известными философами, психологами, исследователями и разработчиками систем искусственного интеллекта. В работе [2] производится попытка обобщения всех этих определений и построения на базе этого обобщения теоретической модели понятия искусственного интеллекта.

Возникла целая наука – когнитивная робототехника, которая изучает интеллектуальность робота. При этом каждый автор рассматривает только свой определенный аспект этого явления. Чаще всего искусственный интеллект определяют по способности робота решать задачи, для которых он предназначен. Есть и противоположный подход, согласно которому робот только тогда обладает интеллектом, когда он способен решать более широкий круг проблем, чем тот, для которого он предназначен. Искусственный интеллект определяют и по способности робота к обучению и самообучению или по уровню и качеству общения с человеком и с другими роботами. Достаточно часто искусственный интеллект сравнивается с интеллектом человека, причем сравнение основывается на способности машины настолько хорошо демонстрировать свою интеллектуальность, что

сам человек-наблюдатель не в состоянии распознать, что он имеет дело с машиной.

Однако в робототехнике цель создания искусственного интеллекта состоит не в том, чтобы обманывать наблюдателя, а в том, чтобы роботы могли решать все более широкий круг сложных задач, брать на себя больше функций, которые обычно выполняются людьми. Именно поэтому в дальнейшем мы будем говорить только о тех элементах интеллекта робота, которые могли бы быть полезны для расширения его возможностей и круга решаемых задач.

В данной работе делается попытка определить состав, место и устройство предполагаемой реализации интеллекта робота. Авторы попытаются дать ответ на следующие вопросы:

- Какие свойства человеческого интеллекта важны при создании интеллектуального робота?
- Как эти свойства могут быть реализованы в системах управления роботов?

При этом авторы считают, что говорить следует лишь о тех элементах интеллекта робота, которые уже реализованы или которые возможно реализовать, а способ реализации в целом понятен и может быть описан. В этом и заключается технократический подход к рассмотрению данной проблемы.

Алгоритмы, воспроизводящие отдельные элементы технократического подхода к интеллектуализации системы управления робототехническим комплексом проходят экспериментальную проверку на мобильном роботе РБ-2, общий вид которого представлен на рис. 1. Робот предназначен для работы в динамически изменяющейся среде обитания человека в помещениях, где он должен полуавтономно выполнять различные команды человека и перемещаться внутри этих помещений.

Робот РБ-2 представляет собой подвижную платформу, на которой предусмотрена возможность установки манипулятора. Подвижная платформа робота оборудована дифференциальным приводом с двумя передними ведущими колесами и двумя задними поддерживающими омни-колесами.

Робот РБ-2 оборудован контактными датчиками препятствий, инфракрасными и ультразвуковыми датчиками малых расстояний. На корпусе робота установлен лазерный сканер, который является основным источником данных для системы управления движением робота.

Программное обеспечение полного состава системы управления установлено на бортовом компьютере с двухъядерным процессором Intel с тактовой частотой 1.8 ГГц, работающим под управлением операционной системы Windows 7 Embedded.



Рис. 1. Робот РБ-2

На данном этапе разработки рассматриваются только системы, отвечающие за движение подвижной платформы робота. Эти системы можно разделить на два уровня.

Системы верхнего уровня, оперирующие семантической информацией, формируют поведение робота, т.е. определяют последовательность его действий, которые в условиях постоянно меняющейся среды необходимы для достижения поставленной цели.

Системы нижнего уровня отвечают за управление собственно движением робота и оперируют метрической информацией, т.е. работают в кодах линейных и угловых скоростей и перемещений. Они описаны в [3] и [4] и здесь не рассматриваются, поскольку представленные ниже элементы интеллекта робота касаются лишь систем верхнего уровня.

2. Составляющие интеллекта робота

Искусственный интеллект робота схематически можно представить в виде основания, в котором находятся Знания, и четырех столпов, которыми являются Осмысление, Восприятие, Общение и Обучение, как изображено на рис. 2.

Существует расхождение в понимании и употреблении терминов, приведенных на рис. 2. Терминология – это результат соглашения и не требует аргументации и доказательств. Что именно подразумевается под терминами Знания, Осмысление, Восприятие, Общение и Обучение, будет описано в соответствующих разделах данной работы.

В схематическом изображении на рис. 2 отсутствуют некоторые понятия, которые принято относить к свойствам интеллекта человека, например: эмоции, интуиция, мораль, сомнение. Эти свойства связаны с особенностями тормозных процессов в мозгу человека, типом его нервной системы и многими другими факторами, суммируемыми в понятии *свобода воли* человека. Мы не будем останавливаться на рассмотрении данных свойств интеллекта, во-первых, потому, что они недостаточно изучены, во-вторых, робот, обладающий такими свойствами, будет иметь заведомо непредсказуемое поведение, что может быть опасно для окружающих его людей.

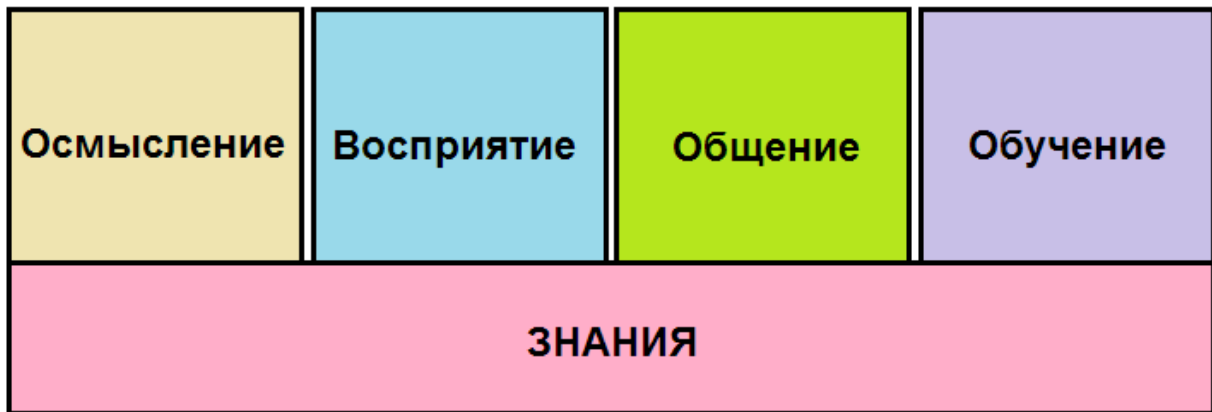


Рис. 2. Составляющие интеллекта робота

Оценка уровня интеллекта робота должна базироваться на наличии и на развитости всех его составляющих. При этом неразвитость или отсутствие какой-либо составляющей не означает отсутствие самого интеллекта. Важно оценить основные задачи и цели функционирования робота и в соответствии с ними оценивать уровень развития соответствующих составляющих.

Отметим, что увеличение вычислительной мощности компьютеров робота не приводит автоматически к увеличению уровня интеллекта, хотя является хорошей основой для развития тех или иных его составляющих.

Знания, необходимые для алгоритмов Осмысления, Восприятия, Общения и Обучения, могут быть разными как по форме представления, так и по содержанию. Однако они должны не противоречить друг другу и формировать целостную структуру. Иными словами, если у робота присутствуют знания для Восприятия какого-то объекта или явления, то должны присутствовать знания и для Осмысления этого объекта или явления, причем результаты работы алгоритмов Осмысления не должны противоречить результатам работы алгоритмов Восприятия.

Формы реализации составляющих интеллекта робота могут быть разными. Логика предикатов наряду с другими является одной из форм реализации таких алгоритмов. Авторы данной работы не отдадут

предпочтения логике предикатов, однако считают, что это достаточно удачный инструмент для демонстрации свойств интеллекта робота. Мы исходим из того, что приведенные ниже примеры могут быть реализованы любым другим программным путём. В данной работе все примеры будут приведены в предикатной форме в терминах, принятых в русском языке.

В системе управления робота РБ-2 встроена База Данных, в которой содержится информация, необходимая для реализации описываемой концепции искусственного интеллекта. В настоящее время в Базу Данных занесены Знания, необходимые для управления движением подвижной платформы и для управления манипулятором робота [5]. Для этих задач на данном этапе отлаживаются алгоритмы Осмысления и Восприятия. На следующем этапе, в будущем, предполагается создание алгоритмов Общения и Обучения.

3. Знания

Основой интеллекта робота, как и естественного интеллекта, являются **Знания**. Интеллектуальность робота базируется, прежде всего, на наличии в его памяти модели его самого и его операционной среды. Эта модель и есть Знания робота.

Знания – это модель робота в операционной среде, представленная в виде множества связанных между собой структур, которые называются Понятиями, Высказываниями, Навыками, Явлениями.

Форма представления Знаний может быть различна. В данной работе мы будем использовать предикатную форму представления.

В системе управления робота РБ-2 для хранения Знаний используется База Данных [6], в которой содержатся семантическая модель операционной среды и модель взаимодействия робота с этой средой.

3.1. Понятия

В теории познания термин **Понятие** является основополагающим. В образовании Понятия участвуют два компонента:

- название Понятия – слово или словосочетание;
- смысл – некоторый набор отличительных признаков, связывающий данное название с попадающими под него объектами, явлениями, свойствами.

Отличительные признаки определяют содержание Понятия, связывают название с объектами/явлениями/свойствами и формируют целостное описание Понятия. Однако требование целостного учёта всех признаков практически не реализуемо, поскольку их количество и сложность бывают неисчерпаемы. На практике в содержание Понятия включаются лишь те

признаки, которые существенно влияют на значение этого Понятия в рамках тех задач, которые стоят перед роботом.

Каждое Понятие обладает объёмом. Объём Понятия – это совокупность всех объектов/явлений/свойств, всех элементов, которые обладают данными отличительными признаками. Определены и операции над Понятиями. Главная цель операций – образование из имеющихся Понятий нового Понятия, со своим собственным объёмом и содержанием.

Существуют специфические операции, определяющие структуру Понятий. К ним относятся: Ограничение, Обобщение, Деление, Классификация.

* Ограничение. Операция, представляющая собой сужение Понятия, в результате которого объём Понятия становится меньше. Например:

роботы -> мобильные роботы

* Обобщение. Операция, обратная ограничению, представляющая собой расширение Понятия, увеличение его объёма. Например:

мобильные роботы -> роботы

* Деление. Операция, состоящая в том, что на основе варьирования какой-то характеристики исходное Понятие делится на несколько частей, в результате чего получается набор новых понятий. Например:

роботы -> мобильные роботы + стационарные роботы

* Классификация. Операция, состоящая в том, что на основе варьирования какой-то характеристики исходное Понятие последовательно делится на его виды, виды – на подвиды и т.д. Например:

роботы -> мобильные роботы + стационарные роботы

мобильные роботы -> колесные роботы + гусеничные роботы + шагающие роботы

Включение алгоритмов, которые учитывают структуру Понятий, расширяет интеллектуальные возможности робота.

В Базе Данных системы управления робота РБ-2 весь набор Понятий, а также структура Понятий содержатся в группе таблиц в разделе Термы [6].

Во многих случаях вместе с Понятием в структуре Знаний полезно иметь набор образов объекта, которые могут использоваться отдельными алгоритмами Интеллекта Робота. В Базу Данных робота РБ-2 занесены геометрические образы объектов, окружающих робота в его операционной среде. Эти образы хранятся в виде Ортофреймов и используются процедурами Восприятия робота [7].

3.2. Высказывания, Факты, Предположения

Понятия, которые являются базовыми элементами для формирования Знаний, не изолированы друг от друга, они находятся между собой во множестве связей. Эти связи представлены в виде **Высказываний**, которые что-либо утверждают или отрицают о Понятиях, являющихся предметом Высказывания. Логика как наука изучает Высказывания, их свойства и типы.

В образовании каждого Высказывания участвуют три компонента:

- предикат – слово или словосочетание, обозначающее данное Высказывание;
- Понятия, между которыми определяется Высказывание;
- кванторы – это указатели на объём Понятий, участвующих в Высказывании.

Например, рассмотрим Высказывание: *Все стулья являются мебелью*. В этом Высказывании определяется отношение между Понятием *мебель* и Понятием *стулья*. Слово *являются* используется в качестве предиката, а в роли квантора – слово *все*.

Высказывания могут быть простыми и сложными. Сложные Высказывания состоят из простых Высказываний, связанных между собой операциями математической логики.

Высказывания могут быть истинными и ложными. По степени достоверности Высказывания между Понятиями делятся на **Факты** и **Предположения**. Фактом является Высказывание, достоверность которого не подвергается сомнению, как например: *Все стулья являются мебелью*. Робот, функционирующий в операционной среде, должен иметь стационарную модель этой среды, которая описывает ее постоянную, не меняющуюся часть. Целенаправленно двигаясь в помещении, робот должен обладать информацией о числе комнат, о наличии дверей, о мебели, которая постоянно и стационарно находится в помещении и т.д. Эти данные, в виде набора Фактов, и являются стационарной моделью. Например:

Между комнатой А и комнатой В есть дверь
В комнате А находится стол
Длина комнаты В равна 4 метрам

Предположения отличаются от Фактов степенью достоверности. Если Фактом является априори достоверное Высказывание, связывающее Понятия, то достоверность Предположения неочевидна и требует подтверждения. Предположениями описывается непостоянная, меняющаяся часть операционной среды робота. Например:

Дверь между комнатой А и комнатой В открыта
Дверь между комнатой А и комнатой В закрыта

Совокупность Фактов и Предположений в памяти является частью модели мира, используемой роботом для своей деятельности.

В Базе Данных системы управления робота РБ-2 содержатся Высказывания следующих пяти типов: Свойство, Классификация, Состояние, Позиция, Принадлежность [6]. Наличие такого набора Высказываний вполне достаточно для решения задач навигации робота и управления движением манипулятора. В Базе Данных с каждым Высказыванием связан параметр, определяющий его достоверность. Факты и Предположения отличаются друг от друга значениями этого параметра.

3.3. Умение, Навыки

Робот является механотронным устройством. По своему назначению робот должен уметь выполнять некоторые действия, которые оказывают влияние и на самого робота, и на его операционную среду. Обращаясь к аналогии с интеллектом человека, **Умение** означает наличие в памяти некоторого набора процедур, алгоритмов, которые называются **Навыками** и которые используются системами робота для управления сенсорами и исполнительными механизмами.

Обычно для того, чтобы выполнить какое-то действие, необходимы определенные начальные условия, которые могут быть выражены набором Фактов и Предположений как о самом роботе, так и о его операционной среде. В результате действия робота часть из начальных условий могут стать недостоверными, зато другие Факты могут стать достоверными.

В структуре каждого Навыка присутствуют следующие компоненты:

- название Навыка – слово или словосочетание;
- исходные условия – Высказывания, достоверность которых определяет возможность использования Навыка;
- алгоритм – последовательность действий робота;
- результат – Высказывания, которые становятся достоверными после исполнения алгоритма.

Умение – это совокупность алгоритмов действий робота, представленных в виде Навыков, для которых определенные Высказывания являются исходными условиями.

Умение обычно рассматривается как составная часть Знания, наличие которой характерно для систем, оборудованных исполнительными устройствами, в том числе и механическими.

3.4. Явления, События

В структуре Знаний робот должен обладать информацией об определенных **Явлениях**, которые оказывают влияние и на самого робота, и на его операционную среду. Эти Явления не зависят от действий робота и

являются следствием изменчивости окружающего нас мира. Человек чаще всего обладает знаниями о происходящих и о возможных Явлениях, об их истоках и последствиях и использует эти знания в своей повседневной деятельности. Аналогично робот должен обладать моделями Явлений, чтобы адекватно реагировать на них.

Событием называется информация о том, что Явление свершилось, т.е. Факт исполнения Явления. Обычно для того, чтобы Событие произошло, необходимо существование определенных исходных условий, которые можно сформулировать в виде Высказываний – Фактов и Предположений. Событие формирует результат, – определенную совокупность Высказываний, которые становятся достоверными, Фактами. Таким образом, в структуре Явления присутствуют следующие компоненты:

- название Явления – слово или словосочетание;
- исходные условия – Высказывания, достоверность которых определяет возможность совершения События, определенного Явлением;
- вероятность исполнения Явления – величина, характеризующая возможность совершения События, определенного Явлением;
- результат – Высказывания, которые становятся достоверными после совершения События.

Структура Явления иллюстрируется следующим примером.

Название Явления:

Дверь захлопнулась

Исходные условия:

*Дверь между комнатой А и комнатой В открыта
Дует ветер*

Результат:

Дверь между комнатой А и комнатой В закрыта

Вероятность События: *0.7*

Явления, хранящиеся в памяти робота, являются составной частью Знаний, которая описывает возможные изменения как в состоянии самого робота, так и в его операционной среде. Эти изменения обусловлены изменчивостью окружающего нас мира и не являются прямым результатом деятельности робота.

4. Осмысление

Осмысление является одним из ключевых признаков Интеллекта Робота. Осмысление – это способность формировать новые Знания, оценивать степень влияния некоторой совокупности Явлений на текущую ситуацию, на возможность достижения определенной цели с использованием Навыков робота. По сути, это означает способность предвидеть последствия каких-то

действий или обстоятельств и выбирать среди всех возможных действий те, которые приведут к желаемому результату.

Под термином Осмысление подразумеваются три вида функций Интеллекта Робота: Рассуждения, Прогнозирование и Планирование.

4.1. Рассуждение, Умозаключение

Рассуждение – это формирование новых Фактов и Предположений на основании известных Фактов и Предположений. Способность к Рассуждению определяется наличием в памяти робота набора Правил Логического Вывода, а также процедур, алгоритмов, использующих эти правила. Процесс Рассуждения состоит из элементарных операций логического следования, которые называются **Умозаключениями**. Каждое Умозаключение является результатом применения одного Правила Логического Вывода. Последовательно применяя Правила Логического Вывода, т.е. делая Умозаключения, процедуры Осознания формируют Рассуждения.

Правила Логического Вывода представляются в виде выражения:

Р: Если А, то В (1)

Здесь:

Р - название Правила;

А - исходные посылки, логическое выражение, составленное из Фактов и Предположений;

В - заключение, логическое выражение, составленное из Фактов и Предположений, которое отличается от А.

По характеру логического следования все Умозаключения делятся на необходимые, и правдоподобные. Необходимые Умозаключения – такие, в которых истинное заключение обязательно следует из истинных посылок, Фактов. Логическое следование в таких выводах представляет собой логический закон, а заключение представляет собой набор Высказываний, составленный из Фактов. В правдоподобных Умозаключениях вывод следует из посылок, в составе которых имеются Предположения.

4.2. Прогнозирование

Прогнозирование, как и Рассуждение, – это формирование новых Фактов и Предположений на основании известных Фактов и Предположений. Прогнозирование осуществляется специальными процедурами, алгоритмами на основании правил, хранящихся в памяти робота. Каждое правило в процедуре Прогнозирования позволяет оценить или последствия какого-то действия робота из его набора Навыков, или результат какого-то События, определенного соответствующим Явлением.

Правила Применимости Действия Робота, определенного Навыком, задаются в виде выражения:

Р: Если А, то D и В (2)

Здесь:

Р - название Правила;

А - исходные посылки, логическое выражение, составленное из Фактов и Предположений, достоверность которых определяет возможность использования Навыка;

D - действие робота, определенное одним из Навыков;

В - результат, логическое выражение, составленное из Фактов и Предположений, которые считаются достоверными после выполнении действия, определенных Навыком.

Правила Прогнозирования События и его последствий, определенных соответствующим Явлением, задаются в виде выражения:

Р: Если А, то С и В (3)

Здесь:

Р - название Правила;

А - исходные посылки, логическое выражение, составленное из Фактов и Предположений, достоверность которых определяет возможность свершения События, определенного Явлением;

С - Событие, определенное Явлением;

В - результат, логическое выражение, составленное из Фактов и Предположений, которые могут считаться достоверными после свершения События.

Правила типа (1), (2) и (3) являются составными частями Знаний робота РБ-2 и содержатся в его Базе Данных [6]. Все они представлены в одной группе таблиц и используются системой управления робота не только для Рассуждения и Прогнозирования, но и для Доказательства, Планирования и Принятия Решений.

4.3. Доказательство, Планирование, Принятие Решений

Доказательство и Планирование - это задачи, обратные Рассуждению и Прогнозированию. Доказательство – это подбор последовательности Умозаключений, посредством которых из исходных посылок, Фактов и Предположений утверждается достоверность некоторого заранее определенного заключения. Существует и другой вид Доказательства, при котором восстанавливается последовательность Событий, которая могла бы привести от исходных посылок к определенному результату. При Планировании действия робота определяются последовательности использования Навыков, которые могут привести к заданной конечной цели, т.е. к некоторому состоянию робота и операционной среды.

Доказательство, Планирование выполняются процедурами и алгоритмами поиска решений в пространстве состояний на основании Правил Логического Вывода, Правил Применимости Действия Робота и Правил Прогнозирования

Событий. Методы решения этих задач широко описаны в научно-технической литературе. Задачи Рассуждения и Прогнозирования, как и все прямые задачи, решаются достаточно просто. Задачи Доказательства и Планирования, как и все обратные задачи, решаются с помощью непростых алгоритмов, которые основаны на той, или иной процедуре перебора.

В системе управления робота РБ-2 для решения задач Планирования используется классический алгоритм логического вывода Графплан [8]. Этот алгоритм отличается простотой реализации и достаточно высокой эффективностью.

Принятие Решений – это идентификация возможных альтернатив действий робота и выбор одного из них, основанный на определенных ценностях и предпочтениях. Принятие Решений тесно связано с процедурами Планирования.

Обычно робот функционирует в условиях неопределенности, связанной с неполнотой его Знаний, с изменчивостью, многовариантностью и с непредсказуемостью окружающего мира. Это проявляется в наличии в исходных посылках Предположений, вероятностных Явлений, а также в допустимости существовании нескольких Правил действий робота при одних и тех же исходных посылках. Это означает, что будущее робота не предопределено однозначно настоящим и возможны различные варианты развития событий. В таких условиях для процедур Прогнозирования и Планирования могут быть использованы подходы, основанные, например, на методах логики ветвящегося времени или модальной логики.

В системе управления робота РБ-2 реализован простейший алгоритм, который формирует несколько альтернативных вариантов событий, из которых Роботу предоставляется возможность выбора одного варианта для воплощения в жизнь. Выбор, что, по сути, и есть Принятие Решения, осуществляется на основании определенных правил предпочтения, заложенных в алгоритмах на стадии программирования.

5. Память

Память – это хранилище Знаний. Память человека имеет чрезвычайно сложную организацию, все свойства которой невозможно описать. Среди этих свойств выделим объем памяти и скорость запоминания и извлечения информации, которые являются принципиально важными с точки зрения робототехники.

В мозгу человека хранятся миллиарды Понятий, Высказываний, Правил. Несмотря на то что мозг человека ограничен физически, память регулярно пополняется новой информацией, при этом не переполняясь. У робота объем

Памяти несравнимо меньше объема Памяти человека, а алгоритмы извлечения и занесения информации должны успешно работать в реальном времени.

Большая скоростью доступа к Памяти робота может быть обеспечена многослойной организацией. Все Знания в Памяти разбиваются на несколько слоев в зависимости от ряда факторов, например от времени и/или от частоты использования данных. Верхние слои содержат информацию, которая использовалась недавно и/или достаточно часто. Объем таких данных составляет только незначительную часть всего объема Знаний робота, поэтому время выборки небольшое. Как только частота использования этой информации падает или время последнего обращения отдалается в прошлое, происходит временное забывание этих данных, т.е. их перемещение в нижние слои памяти, а потом и полное забывание – просто удаление из самого нижнего слоя памяти.

Принцип многослойной памяти реализован в Базе Данных системы управления робота РБ-2. Для всех записей корневых таблиц, содержащих Понятия, Высказывания и Правила, в Базу заносится информация о дате последнего обращения к ним. Встроенная процедура рассчитывает частоту использования этих записей и также заносит в Базу. Верхний слой памяти определяется совокупностью записей, которые использовались недавно и достаточно часто. Все остальные записи относятся к нижнему слою.

Алгоритм извлечения данных из Базы начинает работать только с верхним слоем памяти. Таким образом, система управления робота РБ-2 обеспечивается в первую очередь самой актуальной и наиболее значимой информацией. В случае недостатка этих данных для решения конкретной задачи инициируются процедуры, которые обращаются к нижнему слою. Этот механизм реализует процесс “вспоминания” временно забытой информации. Параллельно с этим работают процедуры, перераспределяющие данные между слоями.

6. Восприятие

Восприятие – это процесс отражения в сознании человека предметов и явлений реального мира в их целостности, в совокупности их различных свойств и частей и при их непосредственном воздействии на органы чувств. Восприятие возникает на основе ощущений, но оно не сводится к их простой сумме. Это качественно новый, более сложный психический процесс по сравнению с ощущением. Восприятие направлено на узнавание отличительных признаков воспринимаемого объекта и построение в сознании модели объекта. Результат восприятия – это целостный образ объекта, а не отдельные его свойства, информацию о которых дают человеку ощущения.

Восприятие является очень сложным и активным процессом, требующим значительной аналитико-синтетической работы. Этот характер восприятия проявляется в целом ряде свойств, к которым относятся: избирательность, предметность, целостность, структурность, осмысленность, константность.

В робототехнике Восприятие - это процесс преобразования сигналов, поступающих от сенсоров, в информацию, совместимую с моделью робота и с моделью его операционной среды, заложенной в памяти робота. Процедуры Восприятия зависят, с одной стороны, от типа сенсоров, установленных на роботе, с другой стороны, от сложности и развитости модели мира и от формы ее представления в памяти робота.

6.1. Узнавание, Понимание

Процедура Восприятия состоит из двух последовательно исполняемых алгоритмов, из **Узнавания** и **Понимания**.

Узнавание – это способность робота из всей совокупности информации, поступающей от сенсоров, выделять характерные признаки и на базе этих признаков идентифицировать Понятия. Алгоритмы Узнавания являются типичными задачами распознавания образов на основе моделей, которые уже содержатся в структуре Знаний робота. Решение этих задач зависит от Памяти робота, от объема его Знаний и о себе, и об операционной среде, а эффективность алгоритмов Узнавания зависит от того, как хорошо эти знания структурированы.

Понимание – операция выявления взаимосвязей между Понятиями, сформированными в результате работы алгоритмов Узнавания и построения на основании этих связей Высказываний, Фактов.

Пример. Предположим, что робот находится в городской квартире и на роботе установлена видеокамера, которая направлена внутрь *комнаты А*. Камера получила изображение *комнаты А* и передала его в качестве исходных данных процедуре Узнавания. Алгоритмы Узнавания, обработав двумерную матрицу яркости, выделяют характерные геометрические признаки, сравнивают их с образцами, хранящимися в памяти, и распознают в *комнате А* объекты, относящиеся к Понятиям *Стол* и *Стул*.

Далее включается в работу алгоритм Понимания, который, учитывая данную Ситуацию – *Робот смотрит в комнату А*, определяет связи между Понятиями *комната А*, *Стол* и *Стул* формирует следующие Высказывания:

Стол находится в комнате А

Стул находится в комнате А

Эти Высказывания являются достоверными, т.е. Фактами, так как априори предполагается, что процесс Восприятия отражает объективную реальность нашего мира. Однако иногда возникают ситуации, когда

Восприятие формирует ошибочные результаты, которые называются Иллюзиями. Они возникают из-за погрешностей в работе сенсоров, из-за отсутствия или неполноты Знаний, из-за несовершенства алгоритмов Узнавания и/или Понимания.

Алгоритмы Восприятия робота РБ-2 находятся в стадии активной разработки. Лазерный сканер, который установлен на роботе, является основным источником данных для этих алгоритмов. Процедура Узнавания основана на выявлении особых геометрических признаков и распознавании ориентиров в окружении робота [9], а процедура Понимания использует Базу Данных, содержащую модель окружающей среды [6].

6.2. Созерцание, Наблюдение

Описанный выше процесс Восприятия пассивен. Робот просто выделяет все характерные признаки, которые находятся в поле действия его сенсоров, и устанавливает связи только между известными Понятиями. Такой процесс называется **Созерцанием**. Созерцание обычно сочетается с фильтрацией исходной информации и с упрощением алгоритмов Узнавания. Это свойство обозначается терминами Внимание, Наблюдательность. Смысл ограничения Внимания робота заключается в том, чтобы снизить нагрузку на компьютер и память робота, облегчить и ускорить процессы Восприятия, исключить из процедур Восприятия детали, не существенные в текущей ситуации.

Процесс Понимания чаще всего сочетается с Осмыслением. В приведенном выше примере, где по сценарию *Робот находится в квартире*, на основании сформированных Фактов, используя индуктивные Умозаключения, робот может сформировать несколько Предположений:

Комната А является кухней

Комната А является столовой

Комната А является кабинетом

Для того чтобы выяснить, какое из этих предположений является Фактом, робот должен произвести целенаправленный поиск соответствующих признаков – **Наблюдение**. Наблюдение – это активная форма Восприятия, целенаправленное действие, при котором с самого начала предполагается поиск и распознавание только определенных признаков. В рассматриваемом примере робот должен определить набор Понятий и Фактов, которые могли бы однозначно идентифицировать назначение *комнаты А*, и спланировать последовательность действий, которые позволили бы ему распознать эти признаки. Для подтверждения достоверности Предположения, что *Комната А является кухней*, робот, поворачиваясь или вращая видеокамерой, должен осмотреть *комнату А* и целенаправленно искать в ней плиту для приготовления пищи, холодильник, мойку посуды и т.д. При этом уровень Внимания робота должен быть выше, чем при обычном Созерцании, а

Восприятие должно концентрироваться в основном на искомым объектах, т.е. стать избирательным.

7. Общение

В психологии Общение определяется как процесс взаимосвязи и взаимодействия личностей, в котором происходит обмен деятельностью, информацией, опытом, способностями, умениями и навыками, а также результатами деятельности. В процессе общения между людьми наиболее выпукло проявляется его эмоциональная составляющая, но с позиции развития робототехники Общение – это только обмен информацией, Знаниями, между роботом и человеком или между роботом и другим роботом.

При Общении с роботом важны следующие аспекты: Форма, Цель и Содержание.

Форма общения – это способ кодирования, передачи, переработки и расшифровки информации, передаваемой в процессе Общения. Формы общения – языки, очень разнообразны: язык движений, жестов, устная речь, письменность, математические формулы, зрительные образы, фотоснимки, видеоролики. Собака, рычащая на человека, сообщает ему о возможной агрессии, и человек понимает это. Языки общения высокого уровня – речь человека, письменность, научный язык, математические формулы.

Процедуры Общения у робота всегда включают в себя процедуры Восприятия, с помощью которых робот получает информацию. Алгоритмы Восприятия в процессе Общения имеют специфику, связанную с Пониманием, со способностью декодировать информацию, передаваемую роботу на языке Общения, и преобразовывать ее в форму, в которой в памяти робота содержатся Понятия, Высказывания, Правила. Второй составляющей Общения являются алгоритмы Передачи информации контрагенту, которые кодируют информацию обратно на язык Общения.

Целью Общения является передача Знаний между контрагентами, роботами и людьми, сторонами Общения. Целью Общения с роботом может являться передача команд для управления его поведением. Робот может инициировать Общение для того, чтобы передать информацию о состоявшемся Событии, которое может быть связано с состоянием робота или его операционной среды, или запросить недостающую информацию.

Цель определяет Содержание Общения. Формирование Содержания, как правило, связано с объемом Знаний робота и осуществляется алгоритмами и процедурами Осмысления, в том числе Рассуждения, Прогнозирования, Планирования.

Для робота наиболее важной является способность общения с человеком на языке, близком к естественному языку общения людей. Воплощение этой способности в жизнь наталкивается на большие сложности, так как требует создания процедур кодирования/декодирования формального языка в неформальный. Современная робототехника пошла по пути создания специализированных технических средств и алгоритмов, позволяющих, с одной стороны, максимально ограничить и формализовать язык общения, с другой стороны, обеспечить его высокую образность и простоту восприятия человеком. Хорошим примером такого подхода является графический интерфейс для взаимодействия с человеком в сочетании с ограниченным набором слов и фраз, которые могут восприниматься и произноситься роботом.

8. Обучение

Обучение – это термин, отражающий способность робота к запоминанию информации, Знаний, для дальнейшего использования в процедурах, относящихся к интеллектуальной деятельности робота. Способность к обучению предполагает возможность формирования новых Понятий, Высказываний, Правил, создания новых классификаций и включение всего этого в структуру Знаний.

Наиболее эффективный способ Обучения – пассивное запоминание информации, полученной в процессе Общения с человеком или с другим роботом. Общение предполагает наличие контрагента, учителя, Знания которого передаются роботу.

Если учителем является другой робот, то процесс Общения между роботами может производиться с использованием формальных языков, не требующих сложных алгоритмов кодирования/декодирования информации. Если же учителем является человек, то, как указывалось выше, Общение с ним на языке, естественном для людей, на современном этапе развития робототехники реализовать невозможно. Для этих целей создаются специальные программы – интерфейсы, основным назначением которых является максимальное облегчение для человека процедур ввода новых Знаний в память робота.

Альтернативный способ обучения – активное самообучение, например, методом проб и ошибок. Для того чтобы реализовать этот метод на практике, робот должен обладать способностями:

- генерировать новые гипотезы;
- оценивать правдоподобие гипотез, формировать Понятия и Предположения;
- планировать и исполнять действия, проводить эксперимент;
- производить Наблюдения для получения результатов эксперимента;

- оценивать результаты эксперимента, сравнивать их с гипотезами и Предположениями, формировать Факты и Правила;
- заносить новые Факты и Правила в Память робота, в соответствии с существующей там структурой.

В настоящее время невозможно полностью реализовать метод проб и ошибок, хотя бы потому, что пока не разработаны методы формирования правдоподобных гипотез и новых Понятий. Человек это делает достаточно легко и называет это процесс *интуицией*, *фантазией* или *творчеством*, используя такие приемы, как абстрагирование, анализ, синтез, сравнение и обобщение. Алгоритмы, воспроизводящие эти приемы, еще не созданы, их механизмы пока недостаточно изучены.

В ходе Обучения всегда задействованы все составляющие интеллекта, включая Восприятие, Общение и Осмысление, а результатом Обучения является формирование новых Знаний и запоминание их в памяти. Наверно, поэтому способность к Обучению рассматривается как самый главный отличительный признак интеллекта. Часто по способности к Обучению оценивается уровень интеллекта, однако такой подход в корне неверен. Маленькие дети до 4-5 лет демонстрируют выдающиеся способности к обучению, но это не значит, что их интеллект выше, чем у взрослого человека.

9. Поведение

Поведение – это способность робота формировать последовательность своих действий с учетом влияния внутренних и внешних факторов для достижения поставленной цели. Наличие интеллекта у Робота и его уровень во многом определяют Поведение робота.

Поведение обычно оценивается по нескольким параметрам. С точки зрения робототехники наиболее важной является оценка степени осмысленности поведения робота.

Поведение робота можно назвать **Осмысленным**, когда для достижения заданной цели робот оценивает сложившуюся ситуацию, свои действия и их последствия, исполняет процедуры и алгоритмы Осмысления, которые осуществляет Рассуждение, Прогнозирование, и Планирование. При этом робот использует:

- Факты, полученные в процессе Восприятия своего состояния и состояния операционной среды;
- Факты, Предположения и возможные События, извлеченные из своей памяти;
- Правила логического вывода, Прогнозирования и Планирования.

Кроме того, на Поведение робота могут влиять Общение с людьми или с другими роботами и Обучение, которое может сочетаться с Общением. Таким образом, Осмысленное Поведение инициирует работу всех составляющих Интеллекта Робота.

С другой стороны, **Рефлекторное** Поведение использует минимальный объем ресурсов интеллекта. Алгоритмы Рефлекторного Поведения используют специальные Правила типа:

Р: Если А и S, то D (4)

Здесь:

Р - название Правила;

А - исходные посылки, логическое выражение, составленное из Фактов и Предположений, достоверность которых определяет возможность использования Навыка;

S - целевые установки, логическое выражение, составленное из Предположений, достоверность которых является целью использования Навыка;

D - действие робота, определенное одним из Навыков.

Правила такого типа не позволяют роботу Рассуждать, Прогнозировать, Планировать свои действия, так как последствия применения действия, определенного Правилом, ему не известны. Их нет в структуре Правила. Этим Правила типа (4) принципиально отличаются от описанных выше Правил типа (2). Если роботом используются только Правила типа (4), то нет необходимости в алгоритмах Осмысления, а Поведение робота становится Рефлекторным.

Однако даже при Рефлекторном Поведении роботу для инициации Правил необходимо иметь исходные посылки, Факты и Предположения о себе и о состоянии операционной среды. Для получения этой информации используются алгоритмы Восприятия и Общения. Они также могут быть предельно простыми или даже отсутствовать, если модель мира, заложенная в памяти робота, представлена в виде совокупности необработанных сигналов, поступающих от сенсоров. В таком случае Поведение робота становится сенсорно–рефлекторным, и оно однозначно определяется только сигналами, поступающими от сенсоров, которые напрямую инициируют действия робота.

Рефлекторное Поведение имеет определенные преимущества перед Осмысленным. Для его реализации нет необходимости разрабатывать сложные Правила Осмысления и программы для их обработки. Самый распространенный способ реализации Рефлекторного Поведения – создание Правил в виде таблиц, в строках которых содержатся сочетания Фактов и Предположений, составляющих исходные посылки, целевые установки и алгоритмы действий, которые должен выполнить робот. Простота и скорость

алгоритма поиска соответствующей строки в таблице делают Рефлекторное Поведение очень популярным у разработчиков современных роботов.

К недостаткам Рефлекторного Поведения относится большая память, необходимая для хранения всех возможных сочетаний исходных Фактов и Предположений, составляющих исходные посылки и целевые установки, а также отсутствие решения в ситуациях, которые не предусмотрены заранее и не заложены в правилах Поведения.

Разумное сочетание Рефлекторного Поведения с Осмысленным позволяет использовать преимущества каждого из них. Для выполнения рутинных задач в хорошо известной обстановке при отсутствии непредвиденных Событий Рефлекторное Поведение предпочтительнее, так как при этом тратится меньше ресурсов компьютера, которые робот может использовать, например, для Наблюдения за операционной средой. При возникновении непредвиденных Событий, а также в новой неизвестной обстановке должны включаться алгоритмы Осмысления, и Поведение становится Осмысленным.

Число правил Рефлекторного Поведения в памяти робота со временем может увеличиваться. Чтобы не запускать процедуры Осмысления для решения одних и тех же задач, связанных с деятельностью робота, можно создать специальный алгоритм Обучения, который заносил бы в память последовательность действий робота вместе с исходными посылками и целевыми установками. После неоднократного успешного выполнения этих действий они должны запоминаться в качестве нового правила Рефлекторного Поведения робота.

8. Заключение

Интеллект человека использует множество форм представления знаний и множество способов преобразования информации. Мыслительный процесс использует не только логику предикатов первого порядка, но и логику модальную, темпоральную, вероятностную, нечеткую. Органы чувств и системы восприятия человека и животных по своим возможностям далеко опережают самые современные сенсорные устройства. Способность к обучению у любого живого существа с самым примитивным интеллектом очень высока, да и сам процесс обучения проходит постоянно, неявно. Все это создавалось природой миллиардами лет эволюции.

Первые роботы появились всего несколько десятков лет назад, а когнитивная робототехника как наука вообще существует только несколько лет. Искусственный интеллект по своим возможностям пока нельзя даже сравнивать с естественным, однако бурное развитие робототехники уже сегодня заставляет разработчиков формулировать критерии для оценки и сравнения интеллектуальности создаваемых машин.

Описанные выше представления о составе и свойствах Интеллекта Робота могут рассматриваться как основа для оценки уровня интеллектуальности роботов, для создания метрики интеллекта. По мнению авторов данной работы, метрика должна быть многомерная, в которой присутствуют сильные зависимости между измерениями. Эта метрика должна включать в себя оценку объема, состава и структуры Знаний, способность к Осмыслению, возможности Восприятия и Общения, а также Обучаемость робота. Все эти факторы должны учитываться сами по себе и в совокупности, причем их оценку необходимо сопоставлять со сложностью операционной среды и с задачами, стоящими перед роботом.

Список литературы

1. Legg S., Hutter M. A collection of definitions of intelligence. //Advances in Artificial General Intelligence: Concepts, Architectures and Algorithms, vol. 157, 2007, pp. 17–24.
2. Legg S., Hutter M. Universal Intelligence: A Definition of Machine Intelligence. // Minds and Machines, vol. 17, #4, 2007, pp. 391-444.
3. Давыдов О.И., Платонов А.К. Алгоритм управления дифференциальным приводом мобильного робота РБ-2 // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015. № 25. 17 с.
4. Давыдов О.И., Платонов А.К. Сеть Пассфреймов – комбинированная Модель операционной среды мобильного робота // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015. № 15. 28 с.
5. Давыдов О.И., Платонов А.К. Комплексная карта операционной среды робота. // Робототехника и искусственный интеллект. Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции, Железногорск, 2015, с. 108-114.
6. Давыдов О.И., Платонов А.К. База данных для семантической модели операционной среды мобильного сервисного робота. // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 7. 24 с.
7. Давыдов О.И., Платонов А.К. База данных для модели операционной среды сервисного робота // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 2016. № 132. 20 с.
8. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: Современный подход. // М.: Издательский дом «Вильямс», 2006, с. 541-545.
9. Давыдов О.И., Платонов А.К. Метод определения позиции и ориентации мобильного робота с лазерным сканером // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015. № 45. 20 с.