



# Роботы- самоучки

**iit**  
ISTITUTO ITALIANO  
DI TECNOLOGIA



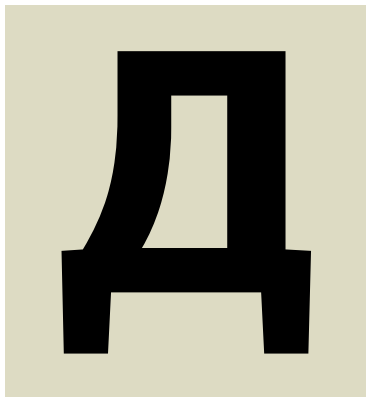
## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Благодаря технике,  
которая обучается  
как ребенок, мы  
глубже понимаем,  
как разум и тело  
взаимодействуют друг  
с другом, обеспечивая  
обретение знаний  
и навыков

*Дайана Квон*

**ОБ АВТОРЕ**

**Дайана Квон** (Diana Kwon) — журналист с магистерской степенью по нейробиологии, полученной в Университете Макгилла, живет в Берлине и пишет про здоровье и естественные науки.



еон, инженер из научно-фантастического фильма «Робот по имени Чаппи», вышедшего в 2015 г., хочет создать робота, способного

думать и чувствовать. Для этого он пишет программу искусственного интеллекта, которая может учиться как ребенок. Созданный Деоном тестовый образец Чаппи формирует свой разум с чистого листа. Просто наблюдая и экспериментируя с тем, что вокруг него, он осваивает общие представления, речь и сложные навыки — на сегодня это недоступно даже наиболее продвинутым системам искусственного интеллекта.

Конечно, некоторые роботы уже опережают человека при выполнении узких задач вроде игры в *Jeopardy* («Своя игра»), шахматы или китайскую настольную игру го. В октябре 2017 г. британская компания *DeepMind* представила *AlphaGo Zero*, последнюю версию системы ИИ, предназначенную для игры в го. В отличие от предыдущей версии *AlphaGo*, где машина освоила игру, изучив огромное количество партий, сыгранных людьми, эта версия приобрела опыт самостоятельно, играя сама с собой. Несмотря на свои замечательные достижения, *AlphaGo Zero* может обучиться только игре с четкими правилами, и ей понадобилось сыграть миллионы раз, чтобы приобрести свои выдающиеся способности.

В то же время наши дети с раннего возраста развиваются, исследуя окружающую среду и экспериментируя с движениями и речью. Они собирают

к счету и даже проявлять элементы социального поведения. В свою очередь, эти системы ИИ помогают психологам понять, как обучаются маленькие дети.

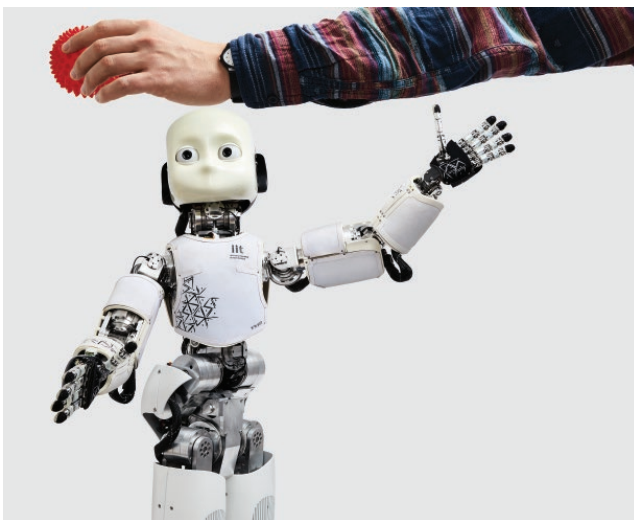
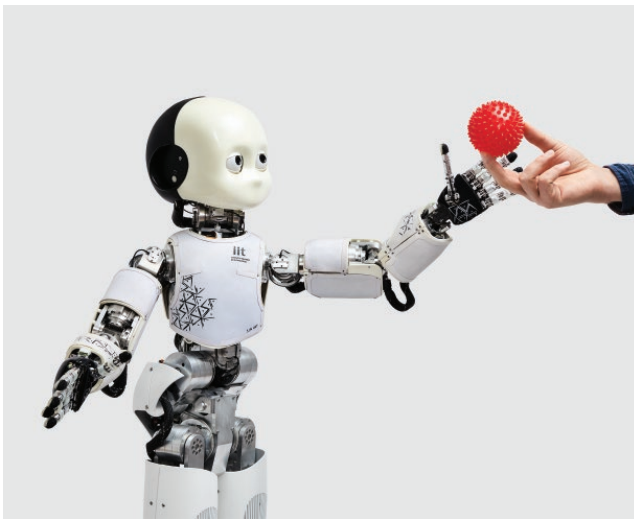
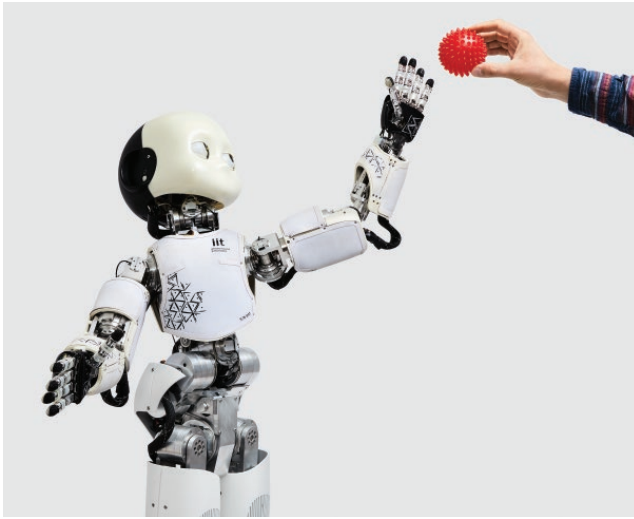
**Предсказывающая машина**

Наш мозг постоянно пытается предсказывать будущее и обновляет свои ожидания в соответствии с реальностью. Например, вы впервые сталкиваетесь с соседской кошкой. У вас общительный щенок, и вы предполагаете, что кошке так же, как и щенку, понравится ваша ласка. Однако когда вы протягиваете руку, чтобы погладить кошку, она вас царапает. Вы пересматриваете свои представления о симпатичных зверюшках и предполагаете, что, возможно, кошка станет более дружелюбной, если ее угостить. И действительно, когда у вас в руках лакомство, она позволяет себя гладить и не царапается. В следующий раз, когда вы повстречаете

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

- Маленькие дети учатся самостоятельно, экспериментируя со своим телом и играя с предметами.
- Инженеры, создающие человекоподобных роботов, программируют их так, чтобы они могли учиться как дети.
- Изучение подобных устройств изменяет само роботостроение и позволяет понять, как развиваются дети.





*iCub*, человекоподобный робот, которого изучают в Плимутском университете в Англии, легче выучивает новые слова, такие как «мяч», если экспериментатор, называя предмет, всегда помещает его с одной и той же стороны

пушистую кошечку, прежде чем к ней прикоснуться, вы предложите ей кусочек тунца.

Таким образом, высшие центры обработки информации в мозге непрерывно уточняют свои внутренние модели за счет сигналов, поступающих от органов чувств. Нервные клетки глаза обрабатывают основные свойства изображения, а затем передают информацию в более высокоуровневые области, определяющие общий смысл увиденного. Поразительно, что нервные сигналы идут и в обратном направлении: от центров, занимающихся высокоуровневой обработкой, расположенных в теменных и височных долях, к низкоуровневым, таким как первичная зрительная кора и латеральное колленчатое тело. Некоторые нейробиологи считают, что эти нисходящие сигналы сообщают нижним уровням, какое предсказание сделал мозг, и влияют на то, что мы видим.

Важно, что нисходящие сигналы, идущие от более высокоуровневых областей мозга, взаимодействуют с восходящими, поступающими от органов чувств, определяя ошибку предсказания — различие между ожидаемым и наблюдаемым. Сигнал о таком несоответствии возвращается к вышележащим областям, помогая усовершенствовать внутренние модели и сформировать свежие предсказания, и так раз за разом. «Сигнал об ошибке предсказания побуждает систему определить, что же там было на самом деле», — говорит Раджеш Рао (Rajesh Rao), специалист по вычислительной нейробиологии из Вашингтонского университета.

Когда Рао был аспирантом в Рочестерском университете, он вместе со своим руководителем, специалистом по вычислительной нейробиологии Дана Баллардом (Dana Ballard), который сейчас работает в Техасском университете в Остине, впервые протестировал в искусственной нейронной сети кодирование с предсказанием (разновидность компьютерных алгоритмов, созданную по образцу человеческого мозга, причем нейронные сети постепенно меняют внутренние параметры, чтобы при заданных входных данных получить требуемые на выходе). В этом вычислительном эксперименте, опубликованном в 1999 г. в *Nature Neuroscience*, исследователи моделировали нейронные связи зрительной коры, состоящие из нисходящего потока, содержащего прогнозы, и восходящего, несущего сенсорные сигналы из внешней среды. После тренировки с использованием фотографий природы сеть научилась распознавать ключевые черты изображения, такие как полосы зебры.

### Подсчет на пальцах

Фундаментальное различие между нами и многими современными системами ИИ состоит в том, что у нас есть тела, которые мы можем использовать для движения и взаимодействия с миром. Маленькие дети развиваются, пробуя двигать

руками, ногами, пальцами и исследуя все, до чего могут дотянуться. Они сами обучаются ходить, говорить, узнавать предметы и людей. Каким образом им удастся это все лишь при минимальном руководстве взрослого — ключевой вопрос для специалистов в области психологии развития и робототехники. Сотрудничество ученых приводит к неожиданным открытиям в обеих областях.

В серии новаторских экспериментов, начавшихся в конце 1990-х гг., специалист по робототехнике Джун Тани (Jun Tani), работавший тогда в *Sony Computer Science Laboratories*, вместе с коллегами создал нейронную сеть, которая должна была на основе прогнозирования обучаться основным движениям, и проверил, как данный алгоритм работает у роботов. Обнаружилось, что машина смогла освоить элементарные навыки, такие как перемещение в простой среде, имитация движений рук и выполнение обычных словесных команд вроде «покажи» и «нажми».

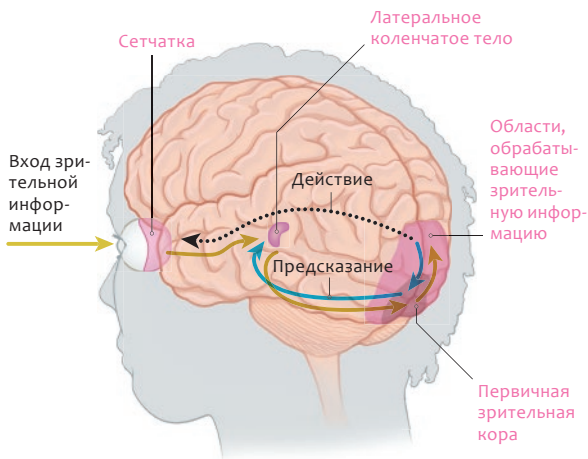
Недавно робототехник Анджело Канджелози (Angelo Cangelosi) из Плимутского университета в Англии и специалист по психологии развития Линда Смит (Linda Smith) из Индианского университета в Блумингтоне продемонстрировали, насколько важна роль тела в приобретении знаний. «От формы тела [робота] и от того, что он может делать, зависит, какой опыт он получит и чему сможет научиться», — говорит Смит. Ученые работают главным образом с гуманоидным роботом *iCub*, имеющим высоту 91 см и созданным коллективом Итальянского института технологий для исследовательских целей. У него нет никаких предварительно запрограммированных функций, и это позволяет ученым использовать собственные алгоритмы при проведении экспериментов.

В исследовании 2015 г. Канджелози и Смит с коллегами обеспечили *iCub* нейронной сетью, с помощью которой можно было обучаться простым ассоциациям, и обнаружилось, что робот легче осваивал новые слова, если названия объектов были связаны с конкретными положениями тела. Экспериментаторы неоднократно помещали мячик или чашку слева или справа от андроида так, что предмет ассоциировался у робота с поворотом головы — движением, которое требовалось, чтобы взглянуть в ту сторону. При этом исследователи называли предмет. Робот лучше выучивал слово, если связанный с ним объект появлялся в одном определенном месте, а не в разных.

Интересно, что когда ученые повторили данный эксперимент с 16-месячными малышами, обнаружили те же результаты: связь предмета с определенной позой помогала маленьким детям выучивать названия. В лаборатории Канджелози дорабатывают эту методику, чтобы научить роботов более абстрактным словам, таким как «это» или «то», которые не связаны с определенным предметом.

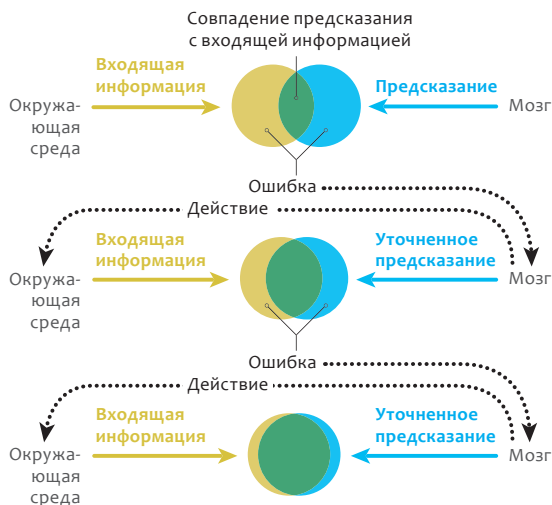
## Прогнозирующий мозг

Наш мозг — это машина, строящая предсказания на основе предыдущего опыта и знаний, чтобы понять смысл потока информации, поступающей из внешней среды. Многие нейробиологи и психологи считают, что почти все, чем мы занимаемся, — восприятие, действие и обучение — зависит от формирования и обновления предсказаний.



### Обработка зрительной информации

Анатомия мозга соответствует представлениям об обработке предсказаний. Например, зрительная кора получает информацию от глаз, но сигналы идут и в обратном направлении. Нейробиологи считают, что такие нисходящие сигналы, поступающие от высших отделов мозга к низшим (например, первичной зрительной коре и латеральному коленчатому телу), содержат предсказания. Они сопоставляются с входящей сенсорной информацией для определения ошибки предсказания: различия между ожидаемым и увиденным. Сигнал, кодирующий такое несоответствие, возвращается к более высокому отделам мозга. Другие нисходящие сигналы передают команды мышцам глаза, регулируя, на что смотреть.



### Последовательность предсказаний

Когда мозг определяет ошибку предсказания, он использует эту информацию, чтобы уточнить предсказания и выбрать те действия, которые помогут устранить несоответствие между ожиданием и реальностью. Например, если человек, взглянув на предмет, не способен определить, что это такое, мозг посылает команду взять объект и изучить его для получения дополнительной информации.

Использование тела может способствовать приобретению навыков счета у детей и у роботов. Как показывают исследования, те дети, кому сложно мысленно представить свои пальцы, как правило, имеют более слабые способности к арифметике. В 2014 г. Канджелози вместе с другими учеными показали, что когда роботов учили считать свои пальцы, их нейронные сети представляли числа более точно, чем когда их обучали только с помощью названий чисел.

### Любознательные машины

Новизна тоже помогает детям учиться. В статье, вышедшей в 2015 г. в журнале *Science*, исследователи из Университета Джонса Хопкинса сообщали, что когда малыши сталкиваются с чем-то неизвестным, например наблюдают, как цельный объект проходит сквозь стену, они изучают то, что не соответствует их ожиданиям. Проще говоря, их развитию помогает врожденная потребность уменьшать ошибки предсказания.

Пьер-Ив Удейер (Pierre-Yves Oudeyer), специалист по робототехнике из французского Государственного института исследований в информатике и автоматике (INRIA), считает, что процесс обучения более сложен. Он убежден, что дети активно и удивительно мудро находят в окружающей среде те объекты, которые предоставляют больше возможностей для обучения. Например, малыш скорее всего предпочтет игру с машинкой, а не с головоломкой из 100 кусочков, вероятно, потому, что с его уровнем знаний о машинке он сможет создать больше проверяемых гипотез.

Для того чтобы проверить эту теорию, Удейер с коллегами наделили роботов тем, что они назвали внутренней мотивацией, — когда уменьшение ошибки прогнозирования приводит к получению подкрепления. (Для интеллектуальной машины подкрепление может выражаться в числах, если она была запрограммирована на то, чтобы увеличивать это число с помощью своих действий.) С помощью такого механизма маленький изображающий щенка робот *AIBO*, имеющий базовые сенсорные и моторные способности, сам начинает искать задачи, дающие оптимальные возможности для обучения. Щенки-роботы смогли обучиться основным навыкам, таким как хватание предметов и голосовые взаимодействия с другим роботом, хотя у них не было программы для достижения именно этих целей. Удейер объясняет, что такой результат — «побочный эффект того, что робот исследует мир, имея мотивацию повысить правильность предсказаний».

Примечательно, что хотя роботы прошли через одинаковые этапы обучения, в том, чему они обучились, сыграла роль случайность. Одни исследовали немного меньше, другие немного больше, в итоге они знали разное. Удейер считает, что

такое различие в освоенных роботами навыках при идентичных программах и одинаковой обучающей среде очень похоже на то, что происходит в обычном школьном классе.

Недавно исследовательская группа Удейера применила вычислительное моделирование, чтобы показать, что роботы с голосовым трактом, оснащенные таким прогностическим алгоритмом (и соответствующим оборудованием), могут обучаться основным элементам речи. Сейчас они вместе со специалистом по когнитивной нейробиологии из Колумбийского университета Жаклин Готтлиб (Jacqueline Gottlieb) исследуют, не лежит ли в основе человеческого любопытства именно такая внутренняя мотивация повысить точность предсказаний. По словам Удейера, дальнейшее исследование этих моделей поможет психологам понять, что происходит в мозге детей при отклонениях и нарушениях развития.

### Андроид-альтруист

Наш мозг пытается предсказывать будущее и тогда, когда мы взаимодействуем с другими людьми. Интересно, что стремление уменьшить ошибку прогнозирования может само по себе породить элементарное социальное поведение, это в 2016 г. показали специалист по робототехнике Юкиэ Нагаи (Yukie Nagai) и ее коллеги из Осацкого университета.

Исследователи обнаружили, что даже когда *iCub* не был запрограммирован на способность к социализации, сама по себе мотивация снизить ошибку предсказания способствовала тому, что он начинал помогать окружающим. Например, робота научили толкать игрушечный грузовик, затем он наблюдал, как экспериментатор безуспешно пытается совершить это действие, и перемещал машину на нужное место просто для того, чтобы быть уверенным в том, где именно находится грузовик. Нагаи, которая сейчас работает в японском Национальном институте информационно-коммуникационных технологий, считает, что развитие детей может происходить сходным образом. Она утверждает, что малышу не нужно иметь намерения помочь другим, сама по себе мотивация уменьшить ошибку предсказания может породить элементарные социальные способности.

Изучение обработки предсказаний может быть полезно для понимания таких нарушений развития, как аутизм. По мнению Нагаи, некоторые аутичные люди могут иметь повышенную чувствительность к ошибкам предсказания, из-за чего входящая сенсорная информация их ошеломляет. Этим можно объяснить их стремление к повторяющемуся поведению, поскольку его последствия высоко предсказуемы.

Гарольд Беккеринг (Harold Bekkering), специалист по когнитивной психологии из Университета



Неймегена, считает, что изучение обработки предсказаний может быть полезно и для объяснения поведения людей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности. Беккеринг поясняет, что, согласно этой теории, люди с аутизмом предпочитают защищать себя от неизвестного, в то время как те, кому сложно сфокусировать внимание, все время отвлекаются на непредсказуемые стимулы в окружающей среде. «Некоторые люди, чувствительные к окружающему миру, исследуют его, тогда как другие, слишком чувствительные, защищают себя от мира», — утверждает он. — В рамках прогностического кодирования вы можете очень хорошо симулировать оба типа поведения». Его лаборатория сейчас работает над тем, чтобы протестировать данное предположение с помощью методов нейровизуализации.

Нагаи надеется проверить эту теорию, проведя исследование «когнитивного отражения», где робот, снабженный алгоритмами обучения с помощью предсказаний, будет взаимодействовать с людьми. Поскольку и робот и человек при общении используют язык телодвижений и мимику, машина будет корректировать свое поведение, чтобы соответствовать своему партнеру и отражать потребность человека в предсказуемости. Таким образом экспериментаторы смогут использовать роботов, чтобы смоделировать человеческое познание, а затем изучить структуру их нейронной сети и попытаться расшифровать, что происходит в голове у человека. «Мы можем воплотить наши черты в роботах, чтобы лучше понять себя», — говорит Нагаи.

## Роботы будущего

Итак, исследования роботов, имитирующих ребенка, помогли ответить на несколько важных психологических вопросов, в том числе о роли предсказания и использования тела в когнитивном развитии. «Мы очень много узнали о том, как работают сложные системы, какую важную роль играет тело, а также действительно основополагающие вещи об изучении среды и предсказании», — говорит Смит.

Однако до роботов с человеческим интеллектом еще далеко: Чаппи по-прежнему остается научной фантастикой. Для начала ученым необходимо преодолеть технические препятствия, такие как хрупкость тела и ограниченные сенсорные возможности большинства роботов. (Тут поможет прогресс в таких направлениях, как мягкие роботы и системы технического зрения роботов.) Более значительные трудности связаны с потрясающей сложностью самого мозга. Несмотря на усилия, которые были предприняты во многих областях, чтобы смоделировать мышление, ученым еще далеко до создания машины, которая могла бы конкурировать с человеком. «Я совершенно не согласен

с теми, кто говорит, что спустя десятилетие или два у нас появятся роботы с человеческим интеллектом», — отмечает Удейер. — Я думаю, они демонстрируют полнейшее непонимание сложности человеческого разума».

Кроме того, для формирования интеллекта недостаточно наличия правильных механизмов и схем. Многочисленные исследования показали, что воспитатели играют критически важную роль в развитии детей. «Если вы спросите меня, может ли робот стать по-настоящему человекоподобным, то я спрошу вас, сможет ли кто-нибудь заботиться о роботе, как о ребенке», — говорит Тани. — Если такое возможно, то да, мы могли бы это сделать, в противном случае нельзя ожидать, что робот будет развиваться как настоящий человеческий ребенок».

Постепенное накопление знаний, по-видимому, тоже необходимо. «Развитие — это очень сложный и многоступенчатый процесс», — говорит Смит. — То, что происходит в один день, закладывает основу [для следующего]. Она считает, что поэтому невозможно создать искусственный интеллект человеческого уровня без пошагового обучения, которое происходит в течение всей жизни.

Незадолго до своей смерти Ричард Фейнман написал знаменитую фразу: «Чего не могу воссоздать, того не понимаю». В книге Тани «Исцеля мышление роботов» (*Exploring Robotic Minds*), вышедшей в 2016 г., он перевернул эту концепцию, написав: «Я понимаю то, что я могу воссоздать». Он утверждает, что лучший способ понять человеческое мышление — воспроизвести его искусственно.

Когда-нибудь люди сумеют создать робота, который сможет исследовать, приспосабливаться и развиваться так же, как ребенок. Возможно, в комплекте будет прилагаться искусственный воспитатель, который обеспечит привязанность и руководство, необходимое для здорового роста. В то же время похожие на детей роботы по-прежнему смогут обеспечивать нас ценной информацией о том, как дети учатся и что происходит, когда нарушаются базовые механизмы. ■

**Перевод: М.С. Багоцкая**

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Павлус Д. Ходячие роботы // ВМН, № 8–9, 2016.
- *Developmental Robotics: From Babies to Robots*. Angelo Cangelosi and Matthew Schlesinger. MIT Press, 2015.
- *Exploring Robotic Minds: Actions, Symbols, and Consciousness as Self-Organizing Dynamic Phenomena*. Jun Tani. Oxford University Press, 2016.
- *How Evolution May Work through Curiosity-Driven Developmental Process*. Pierre-Yves Oudeyer and Linda B. Smith in *Topics in Cognitive Science*, Vol. 8, No. 2, pages 492–502; April 2016.