

**Как измерить искусственный интеллект?
How to measure artificial intelligence?
如何衡量人工智慧?**

Каляев И.А.

*академик РАН, Научно-исследовательский институт многопроцессорных
вычислительных и управляющих систем, Таганрог, Россия
Academician of the Russian Academy of Sciences, Research Institute
of Multiprocessor Computing and Control Systems, Taganrog, Russia
俄羅斯科學院院士, 多處理器運算與控制系統研究所, 俄羅斯塔甘羅格
kaliaev@niimvus.ru*

Аннотация. В настоящее время все чаще используют такие понятия как «слабый» и «сильный» искусственный интеллект, однако до сих пор отсутствуют их общепринятые определения. В статье проанализированы формальные и неформальные представления о сути искусственного интеллекта. Предложен подход количественному измерению «мощности» искусственного интеллекта, что делает возможным проводить сравнение различных интеллектуальных компьютерных систем друг с другом.

Ключевые слова: искусственный интеллект, «слабый» и «сильный» искусственный интеллект, интеллектуальная работа, интеллектуальная мощность компьютерной системы.

Annotation. Currently, such concepts as “weak” and “strong” artificial intelligence are increasingly used, but there are still no generally accepted definitions. The article analyzes formal and informal ideas about the essence of artificial intelligence. An approach has been proposed to quantitatively measure the “power” of artificial intelligence, which makes it possible to compare various intelligent computer systems with each other.

Keywords: artificial intelligence, “weak” and “strong” artificial intelligence, intellectual work, intellectual power of a computer system.

註解. 目前,「弱」和「強」人工智慧等概念越來越多地被使用,但仍然沒有普遍接受的定義。文章分析了關於人工智慧本質的正式和非正式的想法。人們提出了一種定量測量人工智慧「力量」的方法,這使得可以對各種智慧型電腦系統進行相互比較。

關鍵字: 人工智慧,「弱」和「強」人工智慧,智力工作,電腦系統的智力。

1. Введение

Проблема создания искусственного интеллекта (ИИ) в последнее время все сильнее будоражит умы человечества. В мире ведутся многочисленные исследования и разработки в этой области. Каждое развитое государство считает своим долгом создать национальную стратегию или программу развития ИИ. Такая стратегия принята в 2019 году и в нашей стране [1].

Существуют разнообразные формулировки, что такое искусственный интеллект, однако большинство из них имеет недостаточно четкий и зачастую спорный характер [2, 3]. Так, в национальной стратегии развития ИИ в России указано: «ИИ – комплекс технологических решений, позволяющих имитировать

когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решения без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека» [1].

Справедливость данного определения вызывает большие сомнения. Во-первых, под него, например, подпадает обычный калькулятор, поскольку он выполняет когнитивные функции человека (а арифметические и тригонометрические вычисления, безусловно, относятся к когнитивным функциям). При этом результаты, получаемые калькулятором, по скорости и точности вычислений во много раз превышают результаты аналогичной интеллектуальной деятельности человека. Следовательно, исходя из данного определения, калькулятор обладает искусственным интеллектом.

Во-вторых, большое недоумение вызывает фраза «решения, позволяющие имитировать когнитивные функции человека». Попугай тоже может имитировать когнитивные функции человека (а именно человеческую речь), но обладает ли он при этом интеллектом – это большой и спорный вопрос. Кроме того, современные чат-боты так хорошо имитируют разумное человеческое общение, что зачастую очень трудно понять с кем ты разговариваешь – с роботом или человеком. Но именно имитируют, а не ведут разумный разговор. Поэтому утверждать, что чат-бот обладает искусственным интеллектом, конечно же, нонсенс.

Несмотря на то, что до сих пор мы слабо представляем, что же вообще такое искусственный интеллект, в последнее время все чаще стали говорить о «сильном» и «слабом» ИИ [2, 4]. При этом подспудно понимается, что «сильный» ИИ должен быть соизмерим с человеческим интеллектом, а «слабый» ИИ выполняет (или имитирует) отдельные когнитивные функции человека, такие как распознавание образов, речь, слух и т.д. Однако какого-либо четкого способа деления ИИ на «слабый» и «сильный» до сих пор не предложено.

Для того, чтобы понять, что же такое «слабый» и «сильный» искусственный интеллект и провести грань между ними необходимо, во-первых, дать более-менее четкое определение самого ИИ, а во-вторых, предложить количественную меру измерения искусственного интеллекта для сравнения различных компьютерных систем по их «интеллектуальной мощности». Именно ответам на эти вопросы и посвящена настоящая работа.

2. Определения понятия «искусственный интеллект»

Исследования в области искусственного интеллекта зародились в 50-х годах прошлого века, и с тех пор до сих пор остается неразрешенным вопрос – что следует понимать под ИИ. Конечно, идеал ИИ – это компьютерная система, обладающая интеллектом, сравнимым с человеческим. И в начальный период

эры искусственного интеллекта существовала уверенность, что создание такого ИИ не за горами. Однако прошло уже более 70 лет, а эта цель все так же далека, как и в начале пути. И хотя мы научились создавать системы, которые достаточно хорошо имитируют (именно имитируют!) различные человеческие функции, они по-прежнему имеют жесткие ограничения по области применения, требовательны к исходным данным, неспособны разобраться в ситуациях, которые немного отклоняются от тех, на которые они обучены, неспособны перепрофилировать себя для решения новых задач без значительного участия человека и т.д.

С самого начала ученые задумывались над тем, каким образом можно отличить систему с ИИ, от системы, которая ИИ не обладает. Первый такой способ был предложен Аленом Тьюрингом в статье «Вычислительные машины и разум», опубликованной в далеком 1950 году [5]. Он предложил процедуру, которая, по его мнению, позволит определить, когда вычислительная машина станет сравнимой по интеллекту с человеком. Суть этой процедуры заключается в следующем. Человек взаимодействует с одним компьютером и одним человеком. На основании ответов на вопросы он должен определить – с кем он разговаривает: с человеком или с компьютером. Задача компьютерной программы – ввести человека в заблуждение, заставив сделать неверный выбор.

Однако применение данного теста показало его практическую бесполезность, поскольку современные чат-боты легко «вводят в заблуждение» людей, имитируя «разумный» диалог с ними и не обладая при этом никаким ИИ. Ежегодно проводятся соревнования чат-ботов на тест Тьюринга и, например, в 2015 году программа «Соня Гусева», созданная Иваном Голубевым из Санкт-Петербурга, смогла обмануть судей в 47% случаев [6].

С момента возникновения понятия искусственного интеллекта было предложено много его формальных и неформальных определений [3]. Если обобщить все эти определения, то их можно разбить на два принципиально разных философских подхода.

Согласно первому подходу искусственный интеллект – это наука о создании машин, способных выполнять задачи, которые потребовали бы интеллекта, если бы их выполняли люди. Именно такое определение искусственному интеллекту дал еще в 1968 году известный ученый Марвин Минский [7]. Здесь очень важно обратить внимание на то, что исходя из этого определения вовсе не обязательно, чтобы сама машина обладала ИИ, а главное, чтобы она могла выполнять те задачи, которые бы потребовали интеллекта, если бы их решал человек.

Однако эта философия привела к поразительному результату. Как отметил в своем обзоре Эрнандес Оралло [8], современные компьютерные системы, решающие некоторые частные задачи зачастую лучше человека, никаким интеллектом, как правило, вовсе не обладают. Действительно, поскольку все

навыки (т.е. алгоритмы и программы выполнения тех или иных задач), которыми обладают подобные системы, «закладываются» в них создателем-инженером и просто-напросто формализуют результат его умственной работы, то они не более интеллектуальны, чем любой компьютер, выполняющий программу, заложенную в него человеком-программистом.

Здесь можно привести пример игры в шахматы. Если человек играет в шахматы на гроссмейстерском уровне, то мы можем с уверенностью предположить, что этот человек обладает высоким интеллектом. Но того же нельзя сказать даже о программах, которые сегодня способны обыграть чемпиона мира по шахматам, поскольку они делают это не за счет какого-то своего собственного высокого интеллекта, а за счет запрограммированного в них интеллекта их создателей. А также за счет огромного быстродействия суперкомпьютеров, на которых эти программы реализованы, что позволяет им анализировать варианты развития ситуации на доске намного шагов дальше и выбрать среди них наилучший намного быстрее любого человека-шахматиста.

Следует подчеркнуть, что под данное определение ИИ подпадают и широко используемые в настоящее время глубокие нейронные сети, которые успешно (зачастую лучше человека) решают частные задачи классификации и распознавания образов. Однако, при этом навыки решения этих задач формируются в них путем внешнего обучения на основании предварительно размеченных данных, а также с помощью алгоритмов, придуманных и запрограммированных их создателями.

Согласно второму подходу искусственный интеллект заключается в способности системы приобретать и создавать новые навыки для решения задач, к которым она не была подготовлена заранее. Такое определение ИИ в частности было предложено Маккарти [9]. Иными словами, данное определение подразумевает умение системы справляться с решением широкой категории заранее неизвестных задач (т.е. задач, которые не могли быть предусмотрены ее создателем) без помощи человека (хотя на начальной стадии система может быть и обучена человеком).

Следует заметить, что даже самые современные компьютерные системы вряд ли могут быть отнесены к этой категории, хотя на заре эры ИИ такие попытки предпринимались. Здесь можно вспомнить систему Общий Решатель Задач (General Problem Solver – GPS), созданную в 1959 году Гербертом Саймоном, Клиффордом Шоу и Алленом Ньюэллом, которая, по идее создателей, предназначалась для решения широкого класса задач, сформулированных на языке хорновских дизъюнктов [10]. Однако, хотя GPS была способна самостоятельно решать простые задачи, такие как, например, головоломка о ханойских башнях, она не была способна справиться с решением большинства реальных задач, поскольку поиск цели решения приводил к комбинаторному «взрыву».

3. «Слабый» и «сильный» искусственный интеллект

Выше отмечено, что существует два различных философских подхода к определению ИИ:

1. Искусственный интеллект – это способность компьютерной системы выполнять некоторую частную «интеллектуальную» задачу (т.е. задачу, решение которой требует человеческого интеллекта) не хуже, чем бы ее выполнил человек;

2. Искусственный интеллект – это способность компьютерной системы выполнять различные «интеллектуальные» задачи без помощи человека, в том числе те, к которым она не была подготовлена заранее.

Как правило, априори принимается, что компьютерные системы, отвечающие первому определению, обладают «слабым» ИИ, а отвечающие второму определению – «сильным» ИИ.

Очевидно, что компьютерные системы, относящиеся и к первой, и ко второй категории, должны обладать некоторыми навыками для решения стоящих перед ними задач, т.е. алгоритмами или программами их решения. Отличие заключается лишь в том, что в системах со «слабым» ИИ навыки (алгоритмы) формируются ее создателем – человеком, а системы с «сильным» ИИ должны обладать способностью самостоятельно формировать новые навыки (алгоритмы) решения заранее неизвестных задач.

Исходя из этих соображений, в общем случае, компьютерная система со «слабым» ИИ может обладать навыками двух типов: базовыми навыками, заложенными в систему ее инженерами-создателями, а также навыками, полученными в результате внешнего обучения (рис.1).

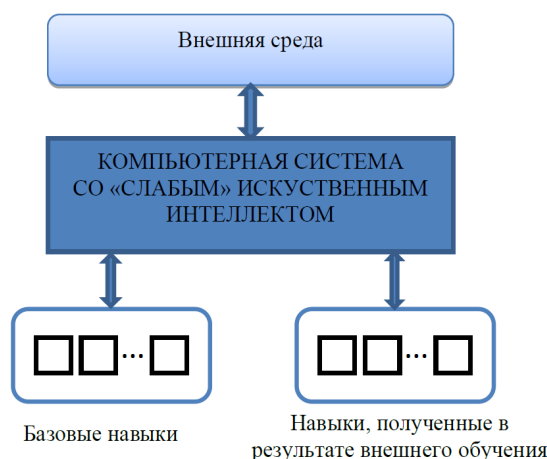


Рис. 1. Структура системы со «слабым» ИИ

Fig. 1. Structure of a system with “weak” AI

圖 1. 「弱」人工智慧系統的結構

Базовые навыки – это аналог «врожденных» навыков человека, например,

навыков дыхания, глотания, моргания и т.п., которые проявляются сразу после его рождения и не требуют какого-либо дополнительного обучения. Если речь идет о технической системе, например, мобильном роботе, то базовым навыками могут являться такие навыки как: движение вперед или назад, поворот вправо или влево, останов и т.д., которые закладываются инженером-программистом на этапе создания системы и не изменяются в процессе ее функционирования.

Навыки второго типа, которыми может обладать система со «слабым» ИИ, получаются в результате внешнего обучения человеком. При этом базовые навыки могут использоваться в процессе такого обучения как некоторые готовые подпрограммы, с помощью которых формируются программы новых навыков. Возвращаясь к примеру интеллектуального мобильного робота, обучаемым навыком (программой) может быть, например, навык распознавания препятствий на пути движения и их обхода, который формируется путем внешнего обучения нейронной сети робота. Базовые навыки робота (программы движения вперед-назад и поворота вправо-влево и т.д.) могут использоваться в качестве готовых подпрограмм, встраиваемых в программу такого обученного навыка.

Очевидно, что, хотя такие системы и принято называть системами со «слабым» ИИ, никаким собственным интеллектом они не обладают, а просто используют интеллект своих создателей и учителей, заложенный в них в виде базовых и обучаемых навыков. Следует отметить, что именно по такому принципу строится подавляющее большинство современных систем, которые принято называть «интеллектуальными», хотя по уровню своего «интеллекта» они ничем не отличаются от обычных компьютеров, реализующих программы, заложенные в них человеком-программистом.

Обобщенная структурная схема компьютерной системы с «сильным» ИИ, отвечающей второму определению, показана на Рис. 2. В отличие от системы со «слабым» ИИ данная система должна обладать дополнительно навыками еще двух типов – навыками, полученными в результате самообучения, а также навыками, полученными системой самостоятельно (без участия человека) для решения новых задач, для которых она не была заранее подготовлена. Навыки, получаемые в результате самообучения, могут формироваться системой с «сильным» ИИ на основе знаний и данных, получаемых из различных доступных ей источников, таких как Интернет, книги, фильмы и т.д., а также на основе опыта ее функционирования во внешней среде.

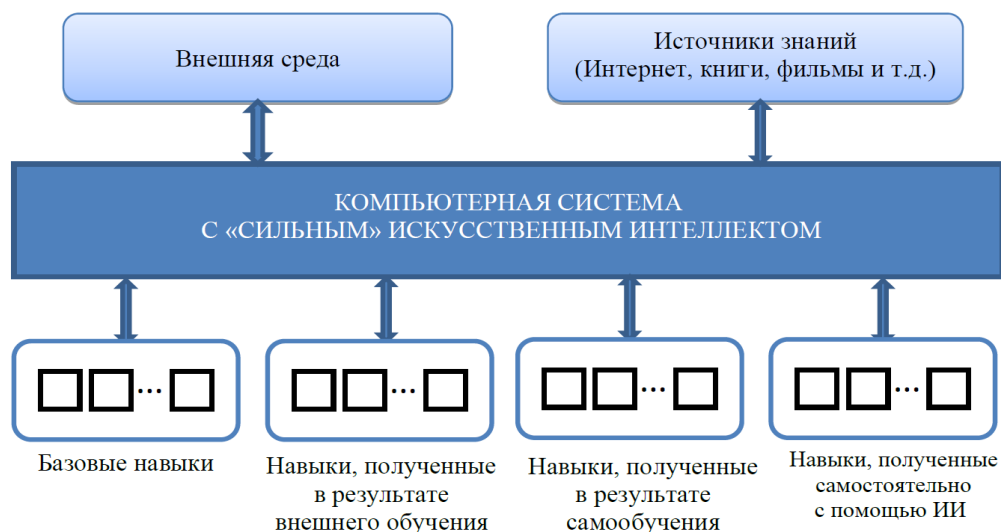


Рис. 2. Структура системы с «сильным» ИИ

Fig. 2. Structure of a system with “strong” AI

圖 2. 「強」人工智慧系統的結構

Необходимость решения новых, заранее неизвестных задач как раз и требует от системы наличия искусственного интеллекта, способного самостоятельно формировать новые навыки для их решения. При этом навыки, ранее накопленные системой, могут использоваться в качестве готовых «кубиков» (подпрограмм) для формирования этих новых навыков. В примере интеллектуального мобильного робота можно предположить, что он обладает базовыми навыками, т.е. навыками движения и поворота, а также навыками распознавание препятствий, полученными в результате внешнего обучения. Теперь же роботу надо самому сформировать навык (алгоритм) перемещения из одной точки среды в другую, не сталкиваясь при этом с препятствиями. Если робот будет обладать способностью самостоятельно, без участия человека сформировать такой навык для выполнения данной задачи, используя уже имеющиеся у него базовые и обученные навыки в качестве основы, то можно будет утверждать, что он обладает «сильным» ИИ.

Здесь следует заметить, что многие современные роботы легко справляются с задачей перемещения из одной точки среды в другую, минуя при этом препятствия. Однако навык (алгоритм) такого перемещения получен ими не самостоятельно, а заложен инженером-создателем либо в качестве базового, либо путем внешнего обучения. Поэтому такие роботы не могут быть отнесены к системам с «сильным» ИИ. Строго говоря, систем, отвечающих признакам «сильного» ИИ, в настоящее время практически не существуют, либо они находятся в зачаточной стадии.

Таким образом, можно сделать вывод, что реальным интеллектом, способным решать широкий класс заранее неизвестных задач, будут обладать только компьютерные системы с «сильным» ИИ, в то время как системы со «слабым» ИИ используют для своей работы интеллект их создателей и учителей, заложенный в них в виде базовых и обученных навыков. Поэтому следует согласиться с Франсуа Шолле [11], который предложил следующее определение ИИ: искусственный интеллект – это способность системы самостоятельного формирования навыков (алгоритмов) выполнения задач, к которым она не была подготовлена заранее, на основе имеющихся у нее ранее сформированных навыков, априорных знаний и накопленного опыта.

4. Количественная мера искусственного интеллекта

Выше были рассмотрены принципиальные отличия компьютерных систем с «слабым» и «сильным» ИИ. Но если мы хотим иметь возможность сравнивать между собой интеллект различных компьютерных систем, то нам необходимо иметь его количественный показатель. Последнее время проблеме измерения искусственного интеллекта посвящается все большее число исследований. Здесь можно упомянуть работы [8, 11, 12]. Однако предложенные в данных работах подходы имеют больше философский характер и трудно применимы на практике. Для практического использования необходим более простой количественный показатель, с помощью которого можно относительно несложно измерять интеллект различных компьютерных систем, в том числе отличающихся набором имеющихся у них навыков и знаний. Прежде чем предложить такой количественный показатель, приведем ряд рассуждений.

Очевидно, что уровень интеллекта системы должен зависеть от величины «интеллектуальной работы», которую система способна выполнять за некоторый промежуток времени. В физике существует понятие мощности, которая определяется количеством выполненной работы за единицу времени. По аналогии с физической мощностью целесообразно ввести понятие «интеллектуальной мощности» компьютерной системы, как количества «интеллектуальной работы», выполняемой системой за единицу времени.

При этом возникает вопрос – каким образом возможно оценить объем «интеллектуальной работы», выполненной компьютерной системой? Пусть имеется система с «сильным» ИИ, обладающая некоторым набором (множеством) навыков

$$N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\} ,$$

включающим в свой состав базовые навыки, навыки, полученные в результате внешнего обучения, навыки, полученные в результате самообучения, а также навыки, приобретенные самостоятельно. Предположим, что возникла

необходимость выполнения новой, заранее неизвестной задачи и данная система каким-то образом сумела сформировать новый навык (программу) n_{m+1} для ее решения, причем для этого были использованы некоторые ранее имеющиеся у системы навыки из множества N , которые вошли в новый навык n_{m+1} в качестве составных частей (подпрограмм) алгоритма его выполнения.

Как мы приняли выше, навык n_{m+1} — это алгоритм или программа выполнения (решения) задачи и поэтому возможно определить его алгоритмическую сложность S_{m+1} (также известную как сложность Колмогорова), которая обычно оценивается количеством вычислений, необходимых для его реализации [13-16]. Очевидно, что «интеллектуальная работа», выполненная системой при формировании нового навыка n_{m+1} , должна быть тем выше, чем выше алгоритмическая сложность S_{m+1} этого навыка n_{m+1} . Но, с другой стороны, если при формировании навыка n_{m+1} были использованы уже имеющиеся у системы навыки из множества N , то объем «интеллектуальной работы», выполненной системой при формировании этого навыка, должен снижаться. Иными словами, величина «интеллектуальной работы» A_{m+1} , выполняемой системой при формировании нового навыка n_{m+1} , должна зависеть от приращения алгоритмической сложности данного нового навыка относительно суммарной алгоритмической сложности уже имеющихся у системы навыков, используемых при его формировании.

Кроме того, поскольку новый навык n_{m+1} — это алгоритм (или программа) выполнения (решения) некоторой задачи, то эффективность ее решения в общем случае будет зависеть от данного алгоритма (навыка). Поэтому, если существует некоторый критерий эффективности решения данной задачи, то новому навыку n_{m+1} необходимо поставить в соответствие коэффициент V_{m+1} , принимающий значений от 0 до 1 и оценивающий эффективность решения задачи с его помощью по заданному критерию. Причем $V_{m+1} = 1$, если получаемое решение полностью отвечает критерию эффективности, и $V_{m+1} = 0$, если полностью не отвечает. При этом, если навык n_{m+1} обеспечивает единственно возможное решение соответствующей задачи, то приписанное ему значение коэффициента эффективности V_{m+1} будет однозначно равно единице.

Так, задача перемещение мобильного робота из одной точки пространства в другую в среде с препятствиями может выполняться с помощью различных (навыков) алгоритмов. Но если критерием эффективности является, например, время движения робота по маршруту, то каждому из этих навыков следует поставить в соответствие коэффициент эффективности, оценивающий возможность достижения минимума времени движения робота к цели с его помощью.

Соответственно, коэффициент эффективности навыка n_{m+1} должен также учитываться при оценке величины «интеллектуальной работы», выполненной системой при его формировании. Причем чем больше значение коэффициента

V_{m+1} , тем, очевидно, выше должна быть величина выполненной «интеллектуальной работы».

Учитывая приведенные соображения, величину «интеллектуальной работы» A_{m+1} , выполненной системой при формировании нового навыка n_{m+1} , можно оценить следующим образом:

$$A_{m+1} = (S_{m+1} - \sum_{j=1}^l S_j^{m+1}) \cdot V_{m+1}, \quad (1)$$

где S_{m+1} – алгоритмическая сложность сформированного навыка n_{m+1} ; $\sum_{j=1}^l S_j^{m+1}$ – суммарная алгоритмическая сложность ранее накопленных навыков из множества N , использованных при формировании навыка n_{m+1} ; V_{m+1} – коэффициент эффективности навыка n_{m+1} .

Тогда «интеллектуальную мощность» P_{m+1} компьютерной системы при формировании нового навыка n_{m+1} можно оценить как отношение количества «интеллектуальной работы» A_{m+1} (1) к промежутку времени T_{m+1} , в течение которого новый навык n_{m+1} был сформирован:

$$P_{m+1} = \frac{A_{m+1}}{T_{m+1}} = \frac{(S_{m+1} - \sum_{j=1}^l S_j^{m+1}) \cdot V_{m+1}}{T_{m+1}}. \quad (2)$$

Последнее выражение оценивает «интеллектуальную мощность» системы при формировании одного единственного навыка, направленного на решение конкретной задачи. Если же нам необходимо оценить интеллектуальную мощность компьютерной системы в целом, а не на одной конкретной задаче, то для этого очевидно необходимо провести ее тестирование на некотором множестве (наборе) различных задач. Набор таких тестовых задач может быть сформирован на основании методик, используемых в психометрии [17, 18].

Ранее уже предпринимались попытки использовать психометрические тесты интеллекта, изначально разработанных для людей, в качестве способа оценки интеллекта в компьютерных системах. Эта идея была впервые предложена в 1964 году Грином [19] и развита в 1973 году Ньюэллом в основополагающей статье «Вы не можете сыграть с природой в 20 вопросов и победить» [20]. Основная логика этих предложений заключается в измерении чего-то более общего, чем умение системы выполнять одну конкретную задачу путем расширения набора целевых задач. Однако, критический недостаток этого подхода заключается в том, что набор задач может быть известен разработчикам и вполне ожидаемо, что они могут заранее «настроить» систему на их решение [21, 22]. Т.е. по сути, в этом случае тестовые задачи будут решаться разработчиками системы, а не самой системой.

Тем не менее, многозадачные тесты были и остаются наиболее

распространенным средством измерения в области ИИ, потому что они воспроизводимы (набор тестов фиксирован), справедливы (набор тестов одинаков для всех), масштабируемы и достаточно гибки, чтобы быть применимым к широкому кругу возможных задач.

Пусть имеется некоторый многозадачный тест, сформированный на основе методик психометрии. Тогда «интеллектуальную мощность» P компьютерной системы в целом можно оценить как

$$P = \frac{\sum_{i=1}^K ((S_i - \sum_{j=1}^l S_j^i) \cdot V_i)}{T}, \quad (3)$$

где S_i – алгоритмическая сложность навыка, сформированного для решения i -ой задачи теста; V_i – коэффициент эффективности навыка, сформированного для решения i -ой задачи теста; $\sum_{j=1}^l S_j^i$ – суммарная алгоритмическая сложность ранее накопленных навыков из множества N , использованных при решении i -ой задачи теста; T – общее время выполнения теста; K – число задач теста, решенных за период T .

Основное преимущество предложенного подхода к измерению «интеллектуальной мощности» компьютерных системы заключается в том, что он дает ее однозначную количественную оценку, которая в том числе учитывает имеющийся у системы «багаж» ранее накопленных навыков, а также ее способность формировать эффективные навыки при решении заранее неизвестных задач. Все это позволяет использовать данную оценку для сравнения искусственного интеллекта различных компьютерных систем, в том числе отличающихся количеством и набором ранее накопленных навыков и знаний, а также способностями к получению эффективных решений. Например, если две сравниваемые между собой системы решили одинаковые задачи из тестового набора за отведенное время, то согласно (3) большей «интеллектуальной мощностью» будет обладать та система, у которой исходная совокупность навыков была меньше, а эффективность новых навыков, полученных при решении задач тестового набора, выше.

5. Заключение

Обобщая приведенные выше соображения можно сделать следующие основные выводы:

Искусственный интеллект – это способность системы самостоятельно формировать навыки (алгоритмы) выполнения задач, к которым она не была подготовлена заранее, на основе имеющихся у нее ранее накопленных навыков, знаний и опыта.

«Слабым» ИИ обладают системы, которые используют навыки,

заложенные в них людьми, либо в процессе создания системы, либо в результате внешнего обучения. Поэтому в реальности системы данного типа никаким собственным интеллектом не обладают, а при решении задач используют заложенный в них интеллект своих создателей-инженеров. Большинство современных систем, которые считаются «интеллектуальными», в действительности относятся к данному классу.

«Сильным» ИИ будут обладать системы, способные самостоятельно, без участия своих создателей-инженеров формировать новые навыки для выполнения задач, к которым они не были заранее подготовлены. При этом мера интеллекта таких систем должна оцениваться их способностями к формированию таких новых навыков. В настоящее время системы ИИ подобного типа находятся только в стадии зарождения.

В качестве количественной меры для оценки уровня искусственного интеллекта компьютерной системы предлагается использовать ее «интеллектуальную мощность», которая измеряется величиной «интеллектуальной работы», выполняемой системой в единицу времени при формировании новых навыков (алгоритмов) решения заранее не известных ей задач. В свою очередь величина «интеллектуальной работы» при формировании новых навыков определяется произведением приращения алгоритмической сложности этих новых навыков относительно ранее накопленных навыков, использованных при их формировании, на коэффициент их эффективности.

1. Introduction

The problem of creating artificial intelligence (AI) has recently increasingly agitated the minds of humanity. There is a lot of research and development going on in this area around the world. Every developed state considers it its duty to create a national strategy or program for the development of AI. This strategy was adopted in 2019 in our country [1].

There are various formulations of what artificial intelligence is, but most of them are not clear enough and often controversial [2, 3]. Thus, the national strategy for the development of AI in Russia states: “AI is a set of technological solutions that make it possible to imitate human cognitive functions (including self-learning and searching for solutions without a predetermined algorithm) and obtain results when performing specific tasks that are comparable, at a minimum, to the results of intellectual human activity” [1].

The validity of this definition is highly questionable. Firstly, an ordinary calculator, for example, falls under it, since it performs human cognitive functions (and arithmetic and trigonometric calculations, of course, belong to cognitive functions). Moreover, the results obtained by the calculator, in terms of speed and accuracy of calculations, are many times higher than the results of similar human intellectual activity. Therefore, based on this definition, the calculator has artificial

intelligence.

Secondly, the phrase “solutions that allow simulating human cognitive functions” causes great confusion. A parrot can also imitate human cognitive functions (namely human speech), but whether it has intelligence is a big and controversial question. In addition, modern chatbots imitate intelligent human communication so well that it is often very difficult to understand whether you are talking to a robot or a person. But they are imitating, not having a reasonable conversation. Therefore, to claim that a chatbot has artificial intelligence is, of course, nonsense.

Despite the fact that we still have little idea of what artificial intelligence actually is, recently people have increasingly begun to talk about “strong” and “weak” AI [2, 4]. At the same time, it is implicitly understood that “strong” AI should be commensurate with human intelligence, and “weak” AI performs (or imitates) individual human cognitive functions, such as pattern recognition, speech, hearing, etc. However, there is no clear way to divide AI into “weak” and “strong” uptoday.

In order to understand what “weak” and “strong” artificial intelligence is and to draw the line between them, it is necessary, firstly, to give a more or less clear definition of AI itself, and secondly, to propose a quantitative measure of artificial intelligence for comparison of various computer systems by their “intellectual power”. The present work is devoted to answering these questions.

2. Definitions of the concept of “artificial intelligence”

Research in the field of artificial intelligence originated in the 50s of the last century, and since then the question remains unresolved - what should be understood by AI. Of course, the ideal of AI is a computer system with intelligence comparable to that of a human. And in the initial period of the era of artificial intelligence, there was confidence that the creation of such AI was not far off. However, more than 70 years have passed, and this goal is still as far away as at the beginning of the journey. And although we have learned to create systems that quite well imitate (precisely imitate!) various human functions, they still have severe limitations in their scope, are demanding on initial data, and are unable to understand situations that deviate slightly from those for which they trained, unable to repurpose themselves to solve new problems without significant human participation, etc.

From the very beginning, scientists have wondered how to distinguish a system with AI from a system that does not have AI. The first such method was proposed by Alain Turing in the article “Computing Machines and Intelligence,” published back in 1950 [5]. He proposed a procedure that, in his opinion, would determine when a computing machine would become comparable in intelligence to a person. The essence of this procedure is as follows. A person interacts with one computer and one person. Based on the answers to the questions, he must determine who he is talking to: a person or a computer. The purpose of a computer program is to mislead a person

into making the wrong choice.

However, the use of this test showed its practical uselessness, since modern chatbots easily “mislead” people, imitating a “reasonable” dialogue with them and without possessing any AI. Chatbot competitions for the Turing test are held annually and, for example, in 2015, the “Sonya Guseva” program, created by Ivan Golubev from St. Petersburg, was able to deceive judges in 47% of cases [6].

Since the emergence of the concept of artificial intelligence, many formal and informal definitions have been proposed [3]. If we generalize all these definitions, they can be divided into two fundamentally different philosophical approaches.

According to the first approach, artificial intelligence is the science of creating machines capable of performing tasks that would require intelligence if performed by humans. This is exactly the definition of artificial intelligence given back in 1968 by the famous scientist Marvin Minsky [7]. It is very important here to pay attention to the fact that based on this definition, it is not at all necessary that the machine itself has AI, but most importantly, that it can perform those tasks that would require intelligence if they were solved by a person.

However, this philosophy led to amazing results. As Hernandez Orallo noted in his review [8], modern computer systems, which often solve some particular problems better than humans, usually do not possess any intelligence at all. Indeed, since all the skills (i.e., algorithms and programs for performing certain tasks) that such systems possess are “embedded” in them by the creator-engineer and simply formalize the result of his mental work, then they are no more intelligent than any computer that runs a program put into it by a human programmer.

Here is an example of playing chess. If a person plays chess at a grandmaster level, then we can confidently assume that this person has high intelligence. But the same cannot be said even about programs that today are able to beat the world chess champion, since they do this not due to some kind of high intelligence of their own, but due to the intelligence of their creators programmed into them. And also due to the enormous speed of supercomputers on which these programs are implemented, which allows them to analyze the options for developing the situation on the board much further and choose the best one among them much faster than any human chess player.

It should be emphasized that this definition of AI also includes the currently widely used deep neural networks, which successfully (often better than humans) solve particular problems of classification and pattern recognition. However, the skills to solve these problems are formed in them through external training based on pre-labeled data, as well as with the help of algorithms invented and programmed by their creators.

According to the second approach, artificial intelligence is the ability of a system to acquire and create new skills to solve problems for which it was not prepared in advance. This definition of AI in particular was proposed by McCarthy

[9]. In other words, this definition implies the ability of a system to cope with solving a wide category of previously unknown tasks (that is, tasks that could not have been foreseen by its creator) without human help (although at the initial stage the system can be trained by a person).

It should be noted that even the most modern computer systems can hardly be classified in this category, although such attempts were made at the dawn of the AI era. Here we can recall the General Problem Solver (GPS) system, created in 1959 by Herbert Simon, Clifford Shaw and Allen Newell, which, according to the creators, was intended to solve a wide class of problems formulated in the language of Horn clauses [10]. However, while GPS was capable of solving simple problems on its own, such as the Towers of Hanoi puzzle, it was not capable of solving most real-world problems because searching for the target of the solution resulted in a combinatorial explosion.

3. “Weak” and “strong” artificial intelligence

It is noted above that there are two different philosophical approaches to the definition of AI:

1. Artificial intelligence is the ability of a computer system to perform some particular “intelligent” task (i.e., a task the solution of which requires human intelligence) no worse than it would be performed by a human;
2. Artificial intelligence is the ability of a computer system to perform various “intelligent” tasks without human assistance, including those for which it was not prepared in advance.

As a rule, it is accepted a priori that computer systems that meet the first definition have “weak” AI, and those that meet the second definition have “strong” AI.

It is obvious that computer systems belonging to both the first and second categories must have some skills to solve the problems they face, i.e. algorithms or programs for solving them. The only difference is that in systems with “weak” AI, skills (algorithms) are formed by its creator – a person, and systems with “strong” AI must be able to independently form new skills (algorithms) for solving previously unknown problems.

Based on these considerations, in general, a computer system with “weak” AI can have two types of skills: basic skills built into the system by its creator engineers, as well as skills obtained as a result of external training (Fig. 1). Basic skills are an analogue of a person’s “innate” skills, for example, breathing skills, swallowing, blinking, etc., which appear immediately after birth and do not require any additional training. If we are talking about a technical system, for example, a mobile robot, then the basic skills can be skills such as: moving forward or backward, turning right or left, stopping, etc., which are laid down by the software engineer at the stage of creating the system and do not change during its operation.

The second type of skills that a system with “weak” AI can possess are obtained as a result of external human training. At the same time, basic skills can be used in the process of such training as some ready-made subprograms, with the help of which programs of new skills are formed. Returning to the example of an intelligent mobile robot, a trained skill (program) can be, for example, the skill of recognizing obstacles in the path of movement and avoiding them, which is formed by external training of the robot’s neural network. Basic robot skills (programs for moving forward-backward and turning left-right, etc.) can be used as ready-made subroutines built into the program of such a trained skill.

It is obvious that, although such systems are usually called systems with “weak” AI, they do not possess any intelligence of their own, but simply use the intelligence of their creators and teachers, embedded in them in the form of basic and teachable skills. It should be noted that it is on this principle that the vast majority of modern systems are built, which are usually called “intelligent”, although in terms of their level of “intelligence” they are no different from ordinary computers that implement programs embedded in them by a human programmer.

A generalized block diagram of a computer system with “strong” AI that meets the second definition is shown in Fig. 2. Unlike a system with “weak” AI, this system must additionally have two more types of skills - skills obtained as a result of self-learning, as well as skills acquired by the system independently (without human participation) to solve new problems for which it was not designed prepared in advance. The skills obtained as a result of self-learning can be formed by a system with “strong” AI based on knowledge and data obtained from various sources available to it, such as the Internet, books, films, etc., as well as on the basis of the experience of its functioning in the external environment.

The need to solve new, previously unknown problems requires the system to have artificial intelligence capable of independently developing new skills to solve them. In this case, the skills previously accumulated by the system can be used as ready-made “cubes” (subroutines) for the formation of these new skills. In the example of an intelligent mobile robot, we can assume that it has basic skills, i.e. movement and turning skills, as well as obstacle recognition skills obtained through external training. Now the robot itself needs to develop the skill (algorithm) of moving from one point in the environment to another, without encountering obstacles. If a robot has the ability to independently, without human intervention, form such a skill to perform a given task, using the basic and trained skills it already has as a basis, then it can be argued that it has “strong” AI.

It should be noted here that many modern robots easily cope with the task of moving from one point in the environment to another, while avoiding obstacles. However, the skill (algorithm) for such movement was not acquired by them independently, but was laid down by the creator engineer either as a base one or through external training. Therefore, such robots cannot be classified as systems with

“strong” AI. Strictly speaking, systems that meet the characteristics of “strong” AI practically do not exist at present, or they are in their infancy.

Thus, we can conclude that only computer systems with “strong” AI will have real intelligence, capable of solving a wide class of previously unknown problems, while systems with “weak” AI use the intelligence of their creators and teachers for their work, embedded in them in the form of basic and trained skills. Therefore, we should agree with Francois Chollet [11], who proposed the following definition of AI: artificial intelligence is the ability of a system to independently develop skills (algorithms) to perform tasks for which it was not prepared in advance, based on its previously formed skills and a priori knowledge and accumulated experience.

4. Quantitative measure of artificial intelligence

The fundamental differences between computer systems with “weak” and “strong” AI were discussed above. But if we want to be able to compare the intelligence of different computer systems, then we need to have a quantitative indicator of it. Recently, an increasing number of studies have been devoted to the problem of measuring artificial intelligence. Here we can mention the works [8, 11, 12]. However, the approaches proposed in these works are more philosophical in nature and are difficult to apply in practice. For practical use, a simpler quantitative indicator is needed that can be used to relatively easily measure the intelligence of various computer systems, including those that differ in the set of skills and knowledge they have. Before proposing such a quantitative indicator, we present a series of considerations.

Obviously, the level of intelligence of the system should depend on the amount of “intellectual work” that the system is capable of performing over a certain period of time. In physics, there is the concept of power, which is determined by the amount of work performed per unit of time. By analogy with physical power, it is advisable to introduce the concept of “intellectual power” of a computer system, as the amount of “intellectual work” performed by the system per unit of time.

This raises the question: how is it possible to estimate the amount of “intellectual work” performed by a computer system? Let there be a system with “strong” AI, possessing a certain set (set) of skills

$$N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\} ,$$

including basic skills, skills acquired through external training, skills acquired through self-study, and skills acquired independently. Suppose that there was a need to perform a new, previously unknown task, and this system somehow managed to generate a new skill (program) n_{m+1} to solve it, and for this purpose some previously existing system skills from the set N were used, which were included in new skill n_{m+1} as components (subroutines) of the algorithm for its implementation.

As we assumed above, skill n_{m+1} is an algorithm or program for executing

(solving) a problem and therefore it is possible to determine its algorithmic complexity S_{m+1} (also known as Kolmogorov complexity), which is usually estimated by the number of calculations required to implement it [13- 16]. Obviously, the “intellectual work” performed by the system when forming a new skill n_{m+1} should be higher, the higher the algorithmic complexity S_{m+1} skill n_{m+1} . But, on the other hand, if, when forming skill n_{m+1} , the system’s existing skills from set N were used, then the amount of “intellectual work” performed by the system when forming this skill should decrease. In other words, the amount of “intellectual work” A_{m+1} performed by the system when forming a new skill n_{m+1} should depend on the increment in the algorithmic complexity of this new skill relative to the total algorithmic complexity of the skills the system already has and used in its formation.

In addition, since the new skill n_{m+1} is an algorithm (or program) for performing (solving) a certain problem, the effectiveness of solving it in the general case will depend on this algorithm (skill). Therefore, if there is some criterion for the effectiveness of solving a given problem, then the new skill n_{m+1} must be associated with the coefficient V_{m+1} , which takes values from 0 to 1 and evaluates the effectiveness of solving the problem with its help according to a given criterion. Moreover, $V_{m+1} = 1$ if the resulting solution fully meets the efficiency criterion, and $V_{m+1} = 0$ if it does not completely meet. Moreover, if skill n_{m+1} provides the only possible solution to the corresponding problem, then the value of the efficiency coefficient V_{m+1} assigned to it will be uniquely equal to one.

Thus, the task of moving a mobile robot from one point in space to another in an environment with obstacles can be performed using various (skills) algorithms. But if the efficiency criterion is, for example, the time the robot moves along the route, then each of these skills should be associated with an efficiency coefficient that evaluates the possibility of achieving a minimum time for the robot to move to the goal with its help.

Accordingly, the skill efficiency coefficient n_{m+1} should also be taken into account when assessing the amount of “intellectual work” performed by the system during its formation. Moreover, the greater the value of the coefficient V_{m+1} , the higher, obviously, should be the amount of “intellectual work” performed.

Taking into account the above considerations, the amount of “intellectual work” A_{m+1} performed by the system when forming a new skill n_{m+1} can be estimated as follows:

$$A_{m+1} = (S_{m+1} - \sum_{j=1}^l S_j^{m+1}) \cdot V_{m+1}, \quad (1)$$

S_{m+1} – algorithmic complexity of the formed skill n_{m+1} ; $\sum_{j=1}^l S_j^{m+1}$ – is the total algorithmic complexity of previously accumulated skills from set N, used in the formation of skill n_{m+1} ; V_{m+1} – efficiency coefficient of skill n_{m+1} .

Then the “intellectual power” P_{m+1} of the computer system when forming a new skill n_{m+1} can be estimated as the ratio of the amount of “intellectual work” A_{m+1} (1) to the time period T_{m+1} during which the new skill n_{m+1} was formed:

$$P_{m+1} = \frac{A_{m+1}}{T_{m+1}} = \frac{(S_{m+1} - \sum_{j=1}^l S_j^{m+1}) \cdot V_{m+1}}{T_{m+1}} . \quad (2)$$

The last expression evaluates the “intellectual power” of the system in the formation of one single skill aimed at solving a specific problem. If we need to evaluate the intellectual power of a computer system as a whole, and not on one specific task, then for this it is obviously necessary to test it on a certain set (set) of different tasks. A set of such test tasks can be formed on the basis of methods used in psychometry [17, 18].

There have been previous attempts to use psychometric intelligence tests, originally developed for humans, as a way to assess intelligence in computer systems. This idea was first proposed in 1964 by Green [19] and developed in 1973 by Newell in the seminal paper “You Can't Play 20 Questions with Nature and Win” [20]. The basic logic of these proposals is to measure something more general than the ability of a system to perform one specific task by expanding the set of target tasks. However, a critical drawback of this approach is that the set of problems may be known to the developers and it is quite expected that they can “tune” the system to solve them in advance [21, 22]. Those, in fact, in this case, test problems will be solved by the system developers, and not by the system itself.

However, multi-task tests have been and remain the most common measurement tool in the field of AI because they are reproducible (the test set is fixed), fair (the test set is the same for everyone), scalable, and flexible enough to be applicable to a wide range of possible tasks.

Let there be some multi-task test, formed on the basis of psychometric methods. Then the “intellectual power” P of the computer system as a whole can be estimated as

$$P = \frac{\sum_{i=1}^K ((S_i - \sum_{j=1}^l S_j^i) \cdot V_i)}{T} , \quad (3)$$

S_i – algorithmic complexity of the skill formed to solve the i -th test problem; V_i is the efficiency coefficient of the skill formed to solve the i -th task of the test; $\sum_{j=1}^l S_j^i$ – total algorithmic complexity of previously accumulated skills from set N , used in solving the i -th test problem; T – total test execution time; K – number of test problems solved during period T .

The main advantage of the proposed approach to measuring the “intellectual

power” of a computer system is that it gives its unambiguous quantitative assessment, which also takes into account the system’s “baggage” of previously accumulated skills, as well as its ability to develop effective skills in solving previously unknown problems. tasks. All this allows us to use this assessment to compare the artificial intelligence of various computer systems, including those that differ in the number and range of previously accumulated skills and knowledge, as well as the ability to obtain effective solutions. For example, if two systems being compared solved identical problems from the test set in the allotted time, then according to (3) the system whose initial set of skills was smaller will have greater “intellectual power”, and the effectiveness of the new skills acquired in solving problems test set, above.

5. Conclusion

Summarizing the above considerations, the following main conclusions can be drawn:

Artificial intelligence is the ability of a system to independently develop skills (algorithms) for performing tasks for which it was not prepared in advance, based on its previously accumulated skills, knowledge and experience.

“Weak” AI refers to systems that use skills instilled in them by humans, either during the process of creating the system or as a result of external training. Therefore, in reality, systems of this type do not possess any intelligence of their own, and when solving problems they use the intellect of their creators-engineers embedded in them. Most modern systems that are considered “intelligent” actually belong to this class.

“Strong” AI will be possessed by systems that are capable of independently, without the participation of their creator-engineers, developing new skills to perform tasks for which they were not previously prepared. At the same time, the measure of intelligence of such systems should be assessed by their ability to form such new skills. Currently, AI systems of this type are only in their infancy.

As a quantitative measure for assessing the level of artificial intelligence of a computer system, it is proposed to use its “intellectual power”, which is measured by the amount of “intellectual work” performed by the system per unit of time when forming new skills (algorithms) for solving problems unknown to it in advance. In turn, the amount of “intellectual work” in the formation of new skills is determined by the product of the increment in the algorithmic complexity of these new skills relative to the previously accumulated skills used in their formation by the coefficient of their effectiveness.

1. 簡介

創造人工智慧（AI）的問題最近越來越引起人類的關注。世界各地在這一領域正在進行大量的研究和開發。每個已開發國家都認為有責任制定人工智慧發展的國家策略或計畫。我國於 2019 年採用了這項策略[1]。

關於人工智慧的意義有多種表述，但大多數表述不夠明確，而且常常存在爭議 [2, 3]。因此，俄羅斯人工智慧發展國家策略指出：「人工智慧是一套技術解決方案，能夠模仿人類認知功能（包括自我學習和在沒有預定演算法的情況下搜尋解決方案）並在執行任務時獲得結果。至少與人類智力活動的結果具有可比性的具體任務」 [1]。

這個定義的有效性非常值得懷疑。首先，例如普通計算器就屬於它，因為它執行人類的認知功能（算術和三角運算當然屬於認知功能）。而且，計算器得到的結果，無論是計算速度或精確度，都比人類同類智力活動的結果高出許多倍。因此，根據這個定義，計算器具有人工智慧。

其次，「允許模擬人類認知功能的解決方案」一詞引起了極大的混亂。鸚鵡也可以模仿人類的認知功能（即人類言語），但它是否具有智力是一個大而有爭議的問題。此外，現代聊天機器人很好地模仿了人類的智慧交流，以至於通常很難理解您是在與機器人還是人交談。但他們只是在模仿，而不是進行合理的對話。因此，聲稱聊天機器人有人工智慧當然是無稽之談。

儘管我們對人工智慧到底是什麼還知之甚少，但最近人們越來越多地開始談論「強」和「弱」人工智慧 [2, 4]。同時，人們也隱含地理解「強」人工智慧應該與人類智慧相稱，而「弱」人工智慧則執行（或模仿）人類個體認知功能，例如模式識別、語音、聽覺等。然而，目前還沒有提出明確的方法將人工智慧分為「弱」和「強」。

為了理解什麼是「弱」人工智慧和「強」人工智慧並劃清它們之間的界限，首先有必要對人工智慧本身給出一個或多或少明確的定義，其次提出一個量化衡量人工智慧的方法。人工智慧透過「智力」來比較各種電腦系統。目前的工作致力於回答這些問題。

2. 「人工智慧」概念的定義

人工智慧領域的研究起源於上世紀 50 年代，此後的問題仍未解決——人工智慧應該理解什麼。當然，人工智慧的理想是具有與人類相當的智慧的電腦系統。而在人工智慧時代的初期，人們就相信這樣的人工智慧的誕生已經不遠了。然而，70 多年過去了，這個目標仍然像旅程開始時一樣遙遠。儘管我們已經學會創建能夠很好地模仿（精確地模仿！）各種人類功能的系統，但它們的範圍仍然存在嚴重的局限性，對初始數據的要求很高，並且無法理解與它們所針對的情況稍有偏差的情況。受過訓練，無法在沒有大量人類參與的情況下重新調整自己的目標來解決新問題，等等。

從一開始，科學家就想知道如何區分具有人工智慧的系統和沒有人工智慧的系統。第一個這樣的方法是由阿蘭·圖靈 (Alain Turing) 在 1950 年發表的《電腦與智慧》一文中提出的[5]。他提出了一個程序，他認為該程序將確定電腦何時在智力上可以與人相媲美。過程的實質如下。一個人與一台計算機

和一個人互動。根據問題的答案，他必須確定他正在與誰交談：一個人還是一台電腦。電腦程式的目的是誤導人們做出錯誤的選擇。

然而，這個測試的使用表明了它的實際用處，因為現代聊天機器人很容易「誤導」人們，模仿與他們的「合理」對話，並且不具備任何人工智慧。圖靈測試的聊天機器人競賽每年舉行一次，例如，2015 年，來自聖彼得堡的 Ivan Golubev 創建的「Sonya Guseva」計畫能夠在 47% 的案件中欺騙法官 [6]。

自從人工智慧概念出現以來，人們提出了許多正式和非正式的定義[3]。如果我們概括所有這些定義，它們可以分為兩種根本不同的哲學方法。

根據第一種方法，人工智慧是一門創造機器的科學，該機器能夠執行如果由人類執行則需要智慧的任務。這正是著名科學家馬文·明斯基 (Marvin Minsky) 於 1968 年所給出的人工智慧定義 [7]。這裡要注意的是，根據這個定義，機器本身完全沒有必要具有人工智慧，但最重要的是，它可以執行那些需要智慧的任務，如果這些任務是透過人工智慧來解決的話。

然而，這種哲學帶來了驚人的結果。正如 Hernandez Orallo 在他的評論中指出的那樣 [8]，現代電腦系統通常比人類更好地解決一些特定問題，但通常根本不具備任何智慧。事實上，由於此類系統擁有的所有技能（即用於執行某些任務的演算法和程序）都是由創造者工程師「嵌入」其中的，並且只是形式化了他的腦力勞動的結果，因此它們並不比任何系統更聰明。運行由人類程式設計師輸入的程式的電腦。

這是一個下棋的例子。如果一個人的西洋棋水平達到了特級大師的水平，那麼我們就可以自信地認為這個人具有很高的智力。但即使對於今天能夠擊敗世界象棋冠軍的程序也不能說同樣的話，因為它們這樣做不是因為它們自己具有某種高智能，而是因為它們的創建者編程到它們中的智能。而且由於執行這些程式的超級電腦速度極快，這使得它們能夠比任何人類國際象棋棋手更快地進一步分析棋盤上發展情況的選項，並在其中選擇最佳選項。

應該強調的是，人工智慧的這個定義還包括目前廣泛使用的深度神經網絡，它成功地（通常比人類更好）解決了分類和模式識別的特定問題。然而，解決這些問題的技能是透過基於預先標記的資料的外部訓練以及在其創建者發明和編程的演算法的幫助下形成的。

根據第二種方法，人工智慧是系統獲取和創造新技能來解決未事先準備好的問題的能力。人工智慧的這個定義特別是由麥卡錫提出的[9]。換句話說，這個定義意味著系統有能力在沒有人類幫助的情況下解決一大類以前未知的任務（即，其創建者無法預見的任務）（儘管在初始階段，系統可以受人培訓）。

應該指出的是，即使是最現代的電腦系統也很難歸入這個類別，儘管這種嘗試是在人工智慧時代初期做出的。在這裡，我們可以回顧一下通用問題求

解器(GPS) 系統，該系統由 Herbert Simon、Clifford Shaw 和 Allen Newell 於 1959 年創建，根據創建者的說法，該系統旨在解決以 Horn 子句語言表述的各種問題。 [10]。 然而，雖然 GPS 能夠自行解決簡單的問題，例如河內塔謎題，但它無法解決大多數現實世界的問題，因為搜尋解決方案的目標會導致組合爆炸。

3. 「弱」與「強」人工智慧

上面指出，人工智慧的定義有兩種不同的哲學方法：

1. 人工智慧是電腦系統執行某些特定「智慧」任務（即需要人類智慧來解決的任務）的能力，且不比人類執行的任務差；
2. 人工智慧是電腦系統在沒有人類協助的情況下執行各種「智能」任務的能力，包括那些事先沒有準備好的任務。

通常，人們先驗地認為，滿足第一個定義的電腦系統具有「弱」人工智慧，而滿足第二個定義的電腦系統具有「強」人工智慧。

顯然，屬於第一類和第二類的電腦系統必須具備一些技能來解決它們所面臨的問題，即 解決這些問題的演算法或程序。 唯一的區別是，在「弱」人工智慧的系統中，技能（演算法）是由其創造者——人形成的，而「強」人工智慧的系統必須能夠獨立形成新的技能（演算法）來解決以前未知的問題。

基於這些考慮，一般來說，一個「弱」人工智慧的電腦系統可以擁有兩種技能：由其創建者工程師內建到系統中的基本技能，以及透過外部訓練獲得的技能（圖 1）。 基本技能類似於一個人的「先天」技能，例如呼吸技能、吞嚥、眨眼等，這些技能在出生後立即出現，不需要任何額外的訓練。 如果我們談論的是一個技術系統，例如移動機器人，那麼基本技能可以是諸如：前進或後退、右轉或左轉、停止等技能，這些技能是由軟體工程師制定的系統創建階段，在系統運行過程中不會發生變化。

「弱」人工智慧系統可以擁有的第二種技能是透過外部人類訓練獲得的。 同時，在訓練過程中可以將基本技能作為一些現成的子程序來使用，並藉助這些子程序形成新技能的程序。 回到智慧移動機器人的例子，經過訓練的技能（程式）可以是例如識別運動路徑中的障礙物並避開它們的技能，這是透過機器人神經網路的外部訓練形成的。 基本的機器人技能（前後移動、左轉、右轉等程式）可以作為現成的子程式內建在此類訓練技能的程式中。

顯然，雖然此類系統通常被稱為“弱”人工智慧系統，但它們本身不具備任何智能，而只是使用其創造者和教師的智能，以基本的、可傳授的技能的形式嵌入其中。 應該指出的是，絕大多數現代系統都是根據這個原理構建的，這些系統通常被稱為“智能”，儘管就其“智能”水平而言，它們與執行嵌入程序的普通計算機沒有什麼不同。由人類程式設計師完成。

圖 1 顯示了滿足第二個定義的具有「強」人工智慧的電腦系統的通用框圖。

2. 與「弱」人工智慧的系統不同，該系統還必須額外擁有兩種技能——透過自學習獲得的技能，以及系統獨立（無需人類參與）解決新問題而獲得的技能。它不是預先設計準備的。透過自學獲得的技能可以由具有「強」人工智慧的系統形成，該系統基於從各種可用來源（例如互聯網、書籍、電影等）獲得的知識和數據，以及其在外部環境中運作的經驗基礎。

解決新的、以前未知的問題的需要要求系統具有能夠獨立開發新技能來解決這些問題的人工智慧。在這種情況下，系統先前累積的技能可以作為現成的「立方體」（子程式）來形成這些新技能。以智慧移動機器人為例，我們可以假設它具有基本技能，即運動和轉彎技能，以及透過外部訓練獲得的障礙物辨識技能。現在，機器人本身需要發展從環境中的一個點移動到另一個點而不會遇到障礙的技能（演算法）。如果一個機器人有能力在沒有人工幹預的情況下，以它已經擁有的基本和訓練有素的技能為基礎，獨立地形成這樣的技能來執行給定的任務，那麼可以說它擁有「強」人工智能。

這裡應該指出的是，許多現代機器人可以輕鬆應對從環境中的一個點移動到另一點的任務，同時避開障礙物。然而，這種動作的技能（演算法）並不是他們自己獨立獲得的，而是由創作者工程師作為基礎或透過外部訓練奠定的。

因此，此類機器人不能被歸類為具有「強」人工智慧的系統。嚴格來說，符合「強」人工智慧特徵的系統目前實際上還不存在，或者還處於起步階段。

因此，我們可以得出結論，只有具有「強」人工智慧的電腦系統才會擁有真正的智能，能夠解決一系列以前未知的問題，而具有「弱」人工智慧的系統則利用其創造者和教師的智能來完成工作，嵌入以基本和訓練有素的技能的形式存在於其中。因此，我們應該同意 Francois Chollet [11]的觀點，他提出了以下人工智慧的定義：人工智慧是一個系統根據其自身能力，自主開發技能（演算法）來執行未事先準備好的任務的能力。先前形成的技能和先驗知識以及累積的經驗。

4. 人工智慧的定量測量

上面討論了「弱」人工智慧和「強」人工智慧電腦系統之間的根本區別。但如果我們希望能夠比較不同電腦系統的智能，那麼我們需要有一個量化指標。

近年來，越來越多的研究致力於測量人工智慧的問題。這裡我們可以提到作品[8,11,12]。然而，這些著作中所提出的方法本質上更具哲學性，很難在實踐中應用。為了實際使用，需要一個更簡單的定量指標，可以用來相對容易地衡量各種電腦系統的智能，包括那些具有不同技能和知識的系統。在提出這樣一個量化指標之前，我們提出了一系列考慮因素。

顯然，系統的智慧程度應該取決於系統在一定時間內能夠執行的「智力工作」量。物理學中有一個功率的概念，功率是由單位時間內所做的功的多少決定的。與體力類比，建議引入電腦系統「智力」的概念，即係統在單位時

間內完成的「智力工作」量。

這就提出了一個問題：如何估計電腦系統執行的「智力工作」量？讓系統擁有「強」AI，擁有一定的技能

$$N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\},$$

包括基本技能、外部訓練所獲得的技能、自學所獲得的技能、獨立獲得的技能。假設需要執行一項新的、以前未知的任務，並且該系統以某種方式設法生成新技能（程序） n_{m+1} 來解決它，並且為此目的，使用了集合 N 中的一些先前存在的系統技能，它們被包含在新技能 n_{m+1} 中作為其實現的演算法的組件（子例程）。

正如我們上面假設的，技能 n_{m+1} 是執行（解決）問題的演算法或程序，因此可以確定其演算法複雜度 S_{m+1} （也稱為柯爾莫哥洛夫複雜度），通常透過實作它所需的計算[13-16]。顯然，該技能 n_{m+1} 的演算法複雜度 S_{m+1} 越高，系統在形成新技能 n_{m+1} 時所執行的「智力勞動」就應該越高。但是，另一方面，如果在形成技能 n_{m+1} 時，使用了系統 N 組中的現有技能，那麼系統在形成該技能時執行的「智力勞動」量應該會減少。換句話說，系統在形成一項新技能 n_{m+1} 時所執行的「智力勞動」 A_{m+1} 量應該取決於該新技能的演算法複雜度相對於系統技能總演算法複雜度的增量已經擁有並在其形成過程中使用。

另外，由於新技能 n_{m+1} 是用於執行（解決）某個問題的演算法（或程式）因此在一般情況下解決該問題的有效性將取決於該演算法（技能）。因此，如果解決給定問題的有效性有某種標準，那麼新技能 n_{m+1} 必須與係數 V_{m+1} 相關聯，該係數取值從0到1，評估解決問題的有效性根據給定的標準在其幫助下。此外，如果所得解完全滿足效率標準，則 $V_{m+1} = 1$ ，如果不完全滿足，則 $V_{m+1} = 0$ 。而且，如果技能 n_{m+1} 提供了相應問題的唯一可能的解決方案，則分配給它的效率係數 V_{m+1} 的值將唯一等於1。

因此，可以使用各種（技能）演算法來執行將移動機器人從空間中的一個點移動到有障礙物的環境中的另一點的任務。但是，如果效率標準是機器人沿著路線移動的時間，那麼這些技能中的每一個都應該與一個效率係數相關聯該效率係數評估機器人以其自身能力移動到目標的最短時間的可能性。幫助。

相應地，在評估系統形成過程中所完成的「智力勞動」量時，也應考慮技能效率係數 n_{m+1} 。而且，係數 V_{m+1} 的數值越大，顯然所完成的「腦力勞動」量應該越高。

考慮到上述因素，系統在形成新技能 n_{m+1} 時所執行的「智力勞動」 A_{m+1} 量可估算如下：

$$A_{m+1} = (S_{m+1} - \sum_{j=1}^l S_j^{m+1}) \cdot V_{m+1}, \quad (1)$$

S_{m+1} —形成的技能的演算法複雜度 n_{m+1} ; $\sum_{j=1}^l S_j^{m+1}$ — 是集合 N 中先前累積的技能的總演算法複雜度，用於形成技能 n_{m+1} ; V_{m+1} 技能效率係數 n_{m+1} 。

那麼電腦系統形成一項新技能 n_{m+1} 時的「智力勞動」 P_{m+1} 可以估計為「智力勞動」 A_{m+1} (1) 與形成新技能的時間段 T_{m+1} 的比值。新技能 n_{m+1} 形成：

$$P_{m+1} = \frac{A_{m+1}}{T_{m+1}} = \frac{(S_{m+1} - \sum_{j=1}^l S_j^{m+1}) \cdot V_{m+1}}{T_{m+1}} . \quad (2)$$

最後一個表達式評估了系統在形成旨在解決特定問題的單一技能方面的「智力」。如果我們需要評估整個電腦系統的智力，而不是針對某個特定任務，那麼顯然有必要在特定的一組（一組）不同任務上進行測試。可以根據心理測量學中所使用的方法形成一組這樣的測驗任務[17, 18]。

先前曾嘗試使用最初為人類開發的心理智力測驗作為評估電腦系統智力的方法。這個想法最早由 Green 於 1964 年提出[19]，並於 1973 年由 Newell 在開創性論文 “You Can't Play 20 Questions with Nature and Win”[20]中得到發展。

這些建議的基本邏輯是透過擴展目標任務集來衡量比系統執行一項特定任務的能力更普遍的東西。然而，這種方法的一個關鍵缺點是，開發人員可能知道這組問題，並且非常期望他們能夠「調整」系統以提前解決這些問題 [21, 22]。那些。事實上，在這種情況下，測試問題將由系統開發人員來解決，而不是由系統本身來解決。

然而，多任務測試一直是並且仍然是人工智慧領域最常見的測量工具，因為它們具有可重複性（測試集是固定的）、公平性（測試集對每個人都是相同的）、可擴展性和足夠的靈活性。適用於各種可能的任務。

讓我們進行一些基於心理測量方法的多任務測驗。那麼整個電腦系統的「智力」 P 可以估計為

$$P = \frac{\sum_{i=1}^K ((S_i - \sum_{j=1}^l S_j^i) \cdot V_i)}{T} , \quad (3)$$

S_i — 解決第 i 個測試問題所形成的技能的演算法複雜度; V_i 是為解決測驗的第 i 個任務而形成的技能的效率係數; $\sum_{j=1}^l S_j^i$ — 用於解決第 i 個測試問題的 N 組先前累積的技能的總演算法複雜度; T —總測試執行時間; K — T 期間解決的測驗問題數。

所提出的衡量電腦系統“智力”的方法的主要優點是，它給出了明確的定量評估，該評估還考慮了系統先前積累的技能“包袱”，以及開發有效知識的能力。解決以前未知問題的技能、任務。所有這些使我們能夠利用這種評估來比較各種電腦系統的人工智慧，包括那些在先前累積的技能和知識的數量和範圍上有所不同的電腦系統，以及獲得有效解決方案的能力。例如，如果被比較的兩個系統在規定的時間內解決了測試集中的相同問題，那麼根據（3），初始技能集較小的系統將具有更大的“智力”，並且新技能的有效性在解決上面的問題測試集時獲得的。

5. 結論

總結以上考慮，可以得到以下主要結論：

人工智慧是一個系統根據其先前累積的技能、知識和經驗，獨立開發技能（演算法）來執行未事先準備好的任務的能力。

「弱」人工智慧是指使用人類在創建系統的過程中或透過外部培訓灌輸的技能的系統。因此，實際上，這種類型的系統本身不具有任何智能，在解決問題時，它們使用嵌入其中的創建者工程師的智能。大多數被認為是「智能」的現代系統實際上都屬於這一類。

「強」人工智慧將由那些能夠在沒有創造者工程師參與的情況下獨立開發新技能來執行之前沒有準備好的任務的系統所擁有。同時，此類系統的智慧程度應根據其形成此類新技能的能力來評估。目前，這種類型的人工智慧系統還處於起步階段。

作為評估電腦系統人工智慧等級的量化指標，提出用其“智力”，即係統在形成新技能時，單位時間內完成的“智力勞動”量來衡量（演算法）用於解決它事先未知的問題。反過來，形成新技能的「智力工作」量取決於這些新技能的演算法複雜性相對於先前累積的形成新技能的技能的增量與其有效性係數的乘積。

Литература

References

參考書目

1. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. // Электронный ресурс. URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/AH4x6HgKWANwVtMOjPDhcbRpvdIHCCsv.pdf>
2. Каляев И.А. Искусственный интеллект - камо грядеши? Экономические стратегии. 2019. № 5. С. 6–15.
3. Legg S., Hutter M. A collection of definitions of intelligence. 2007.
4. Russel S.J., Norvig P. Artificial Intelligence. A Modern Approach (2nd ed.) Prentice Hall, 2003.
5. Turing A. Computing Machinery and Intelligence, Mind. Oxford University Press. 1950. №

59. P. 433-460.

6. Чем завершился третий тест Тьюринга, Электронный ресурс. URL: <https://vc.ru/flood/59052-chem-zavershilsya-tretyi-test-tyuringa>.

7. Minsky M. Society of mind, Simon and Schuster, 1988.

8. Hernandez-Orallo J. Evaluation in artificial intelligence: from task-oriented to ability-oriented measurement, Artificial Intelligence Review, 2017. P. 397-447.

9. McCarthy J. Generality in artificial intelligence, Communications of the ACM. 1987. 30(12). P. 1030-1035.

10. Newell A., Shaw J.C., Simon H. A. Report on a General Problem Solver Program, Proc. Of the Conf. on Information Processing. 1959.

11. Chollet F. On the Measure of the Intelligence, Electronic resource. URL: <https://arxiv.org/pdf/1911.01547.pdf>

12. Hernandez-Orallo J. The Measure of All Minds: Evaluating Natural and Artificial Intelligence, Cambridge University Press, 2017.

13. Chaitin G.J. Algorithmic Information Theory, Cambridge University Press, 1987.

14. Chaitin G.J. A theory of program size formally identical to information theory, Journal of the ACM (JACM), 1975. (3). P. 329-340.

15. Верещагин Н.К., Шень В.А. Колмогоровская сложность и алгоритмическая случайность, М., МЦНМО, 2013.

16. Grunwald P.D., Vilanyi P.M.. Algorithmic information theory. 2008.

17. Crocker L., Algina J. Introduction to classical and modern test theory. ERIC, 1986.

18. Hambleton R., Swaminathan H., Rogers H. Fundamentals of Item Response Theory, Sage Publications, Inc., 1991.

19. Bert F, Green Jr. Intelligence and computer simulation, Transactions of the New York Academy of Sciences, 1964.

20. Newell A. You can't play 20 questions with nature and win, Electronic resource. URL: <https://www.coli.uni-saarland.de/~crocker/documents/Newell-1973.pdf>

21. Detterman D.K. A challenge to Watson, Intelligence, 2011. P. 7778.

22. Dowe D.L., Hernandez-Orallo J. Iq tests are not for machines, yet, Intelligence, 2012. P. 7781.