



Подход к оцениванию уровня интеллектуальности информационной системы

© 2023, С.В. Микони

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский Центр РАН,
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

На основе анализа определений естественного и искусственного интеллекта (ИИ) предложены базисные функции, отражающие познавательную деятельность мозга. Их трактовка в широком смысле с использованием правил русской грамматики позволила описать весь спектр понятий, применяемых в ИИ. Показана возможность выражения базисных функций через более простые и объединения их в более сложные. Обоснована полнота, непротиворечивость и избыточность базиса познавательных функций мозга. 14 базисных функций разделены на четыре группы, отражающие различные стороны работы со знанием. Это позволило рассматривать систему ИИ как специализированную систему обработки информации. За признак, выделяющий подсистему ИИ в информационной системе, принят имитационный подход к моделированию функций человеческого мозга. Уровень интеллектуальности информационной системы характеризуется показателями долей аппаратного и программного обеспечения, использованных для реализации моделей ИИ, в общем объеме аппаратного и программного обеспечения информационной системы. Приведён пример оценивания уровня интеллектуальности информационной системы беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: естественный интеллект, искусственный интеллект, ум, разум, уровень интеллектуальности, информационная технология, информационная система.

Цитирование: Микони С.В. Подход к оцениванию уровня интеллектуальности информационной системы // Онтология проектирования. 2023. Т.13, №1(47). С.29-43. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-29-43.

Финансирование: исследования проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

В национальной стратегии развития искусственного интеллекта (ИИ) [1] понятие «ИИ» определено как «комплекс технологических решений, имитирующий когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и позволяющий при выполнении задач достигать результаты, как минимум сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека. Комплекс технологических решений включает информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение, в том числе реализующее методы машинного обучения, процессы и сервисы (прежде всего в «облачной» архитектуре) по обработке данных и выработке решений». Технологии в области ИИ определены как «технологии, основанные на ИИ, включая, в том числе, компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание и синтез речи, рекомендательные системы и интеллектуальные системы поддержки принятия решений...» [1].

Выход документа [1] оживил обсуждение в научной среде определения ИИ, его возможностей и границ. К одной из первых публикаций в этом направлении следует отнести [2], в которой приведён краткий обзор исследований по ИИ. С начала 90-х годов в России практически не разрабатывались, за некоторыми исключениями, собственные промышленные ин-

теллектуальные технологии. Поэтому вместе с западными технологиями пришли соответствующая терминология и взгляды на ИИ. Акцент сместился с изучения и моделирования умственных способностей человека на их машинную реализацию. В подтверждение технологического характера современного ИИ в [2] приведён пример так называемой периодической системы технологий ИИ [3]. В отличие от физических законов, которые отражены в периодической системе элементов Д.И. Менделеева, автор системы технологий ИИ представил схему связей между различными подходами и задачами ИИ. В ней не учитывается связь между объектами моделирования (функциями мозга) и применяемыми для моделирования моделями и методами ИИ, не учитываются отношения «Общее-частное», «Целое-часть», «Причина-следствие» между обсуждаемыми сущностями и т.д. Многообразие этих связей во всём их объёме невозможно представить таблицей на плоскости.

В работе [2] приведены следующие определения ИИ:

- ИИ – это междисциплинарная область исследований и набор технологий, позволяющий создавать технические системы, решающие задачи, ранее доступные только человеку;
- ИИ – это способность системы приобретать, обрабатывать и применять знания (знания – это факты, информация и навыки, приобретенные в результате опыта или обучения).

В первом определении, хотя и существует отсылка к человеку, но не указывается связь между объектом моделирования – естественным интеллектом (ЕИ) – и его искусственными моделями. Второе определение ИИ, данное в ISO / IEC 3WD 22989, на самом деле определяет не ИИ, а свойство системы ИИ (СИИ), и не охватывает всех решаемых ИИ задач.

В работе [2] не затронут важный вопрос, на который необходимо дать ответ в связи с появлением документа [1]: чем СИИ отличается от системы обработки информации (СОИ)? Практические соображения на этот счёт приведены, например, в обзоре [4, 5]: «на высоких уровнях автономности на бортовые управляющие системы БЛА возлагаются функции, традиционно ассоциирующиеся с интеллектуальной деятельностью человека» [4, стр. 3]. Этим высказыванием утверждается, что автономность БЛА обеспечивается не только средствами ИИ. Таким образом, актуальна задача выявления интеллектуальной составляющей информационной системы (ИС) с последующим определением уровня её интеллектуальности. Настоящая статья посвящена решению этой задачи.

1 Естественный интеллект

Известны различные определения интеллекта. В Энциклопедии Британии даётся следующее перечислительное определение интеллекта [6]: интеллект (от лат. *intellectus* «восприятие»; «разумение», «понимание»; «понятие», «рассудок» или «ум») — качество *психики*, состоящее из способности *приспосабливаться* к новым ситуациям, способности к *обучению* и *запоминанию* на основе опыта, *пониманию* и применению *абстрактных* концепций и использованию своих *знаний* для *управления* окружающей человека средой¹.

Наиболее общим понятием этого определения является психика. В [7] психика определена как *системное свойство высокоорганизованной живой материи, заключающееся в активном отражении субъектом объективного мира, в построении неотчуждаемой от него картины мира и регуляции на этой основе своего поведения и деятельности*¹. Это описательное определение охватывает все свойства психики, в том числе не названные в определении [6].

Существенные признаки (СП) понятия «интеллект» в определении [6] хотя и относятся к операциям психики, но различаются по уровню общности. Приспособление субъекта к новой ситуации осуществляется на основе его обучения, а обучение требует понимания и приобре-

¹ Перевод автора.

тения нового знания. Понимание требует, в свою очередь, запоминания ранее полученного знания, ибо смысл понимания заключается в перекодировании новой информации в коды известного знания, используемые его носителем [8].

Упомянутые в определении [6] свойства психики образуют следующую причинно-следственную цепочку: *восприятие* информации → *понимание* полученной информации → *сопоставление* понятой информации с известной → *запоминание* новой информации как результата *обучения* → *реагирование* на полученную информацию (управление действиями) по известным правилам. В случае новизны информации выполняется её *анализ* на предмет соответствия известным правилам поведения. При отсутствии правил поведения, обеспечивающих гармонию с внешней средой или противодействие ей, вырабатываются необходимые новые правила. Выработка и выполнение правил поведения, обеспечивающих гармонию с внешней средой, и есть приспособительная реакция на изменение внешней среды.

В русском языке наиболее близким термину «интеллект» является слово «ум». Неслучайно в СИИ используются такие словосочетания, как умный дом, умная машина и пр. Пользуясь грамматической системностью русского языка, интересно выявить бытовой смысл производных от слова «ум» – слов уметь и разуме́ть. Согласно [9] слово «уметь» означает «обладать навыками, необходимыми, чтобы сделать что-либо». Слово «разуме́ть» в смысле «понимать, постигать смысл вещей» отражает более высокий уровень мышления.

Более глубокий смысл разума (разуме́ть) отражает описательное определение интеллекта. «Интеллект включает в себя рациональный и логический аспекты человеческого разума. При изучении человеческого разума интеллект описывает и идентифицирует способность человеческого разума делать правильные выводы о том, что истинно, а что ложно в действительности, и как решать проблемы»¹ [10].

Из этого определения можно заключить, что для решения любой проблемы достаточно ума, а для того, чтобы делать правильные выводы о том, что истинно, а что ложно в действительности, необходим разум. Смысл этих слов сводится соответственно к ремеслу и творчеству. Под ремеслом понимается решение задачи по известному алгоритму. Творчество предполагает создание нового алгоритма для решения задачи². В общем случае мыслительная деятельность предполагает наличие обоих начал в различной пропорции.

Разум предполагает знание более общих закономерностей и законов, на основании которых можно делать заключения об истинности любых суждений. И чем большим числом уровней знания обладает разум, тем больше истин он может установить, что следует из теоремы Гёделя о неполноте [11], доказывающей необходимость метазнания для установления истинности некоторой теории предметной области (ПрО).

Информацию, которой оперирует мозг, можно разделить на обрабатываемую и обрабатывающую (инструментальную). Инструментальная информация нижнего уровня общности включает модели и методы, используемые для решения различных классов задач. Верхние уровни инструментальной информации содержат совокупности законов, закономерностей и правил, используемые для создания моделей и методов. Перечень правил вывода (способов решения задач) представляет собой не линейный список, а сложную структуру.

Набор решаемых задач зависит от объёма инструментальной информации, т.е. от объёма внешнего знания по отношению к рассматриваемой ПрО. Эта часть знания характеризует интеллект человека, как способность самостоятельно решать новые задачи.

² Автору это известно по личному опыту. При поступлении в институт после трёх лет службы в Советской Армии задачу на устном экзамене по математике решал в течение трёх часов. Экзаменатору-фронтовику было жаль ставить неуд абитуриенту в военной форме. Задача была решена только с третьей попытки. На вопрос экзаменатора, почему задача решена не школьному, был ответ: «Я не учился в старших классах школы, поскольку окончил Московский нефтяной техникум».

2 Измерение интеллекта человека

Сопоставление объектов по некоторому свойству требует применения количественного показателя. В этом смысле такое свойство человека, как интеллект, не является исключением. На значение показателя интеллекта влияет много факторов. К таковым, в частности, относятся: логическое мышление, пространственная память, визуализация, вербальные способности. С помощью факторного анализа в структуре интеллекта выделяется до 120 базовых факторов [13]. Очевидно, что большое число факторов затрудняет измерение уровня интеллекта.

У психологов получил применение фактор общего интеллекта g , приемлемо оценивающий элементарные познавательные способности испытуемых. Для оценки фактора общего интеллекта g предложен коэффициент интеллекта (англ. *IQ* — *intelligence quotient*) — количественная оценка уровня интеллекта человека (коэффициент умственного развития) [13]. Количественная оценка определяет уровень интеллекта индивида относительно уровня интеллекта среднестатистического человека. Важно подчеркнуть, что *IQ* оценивает мыслительные способности индивида (а не его уровень знаний).

Каждый тест *IQ* состоит из перечня заданий нарастающей сложности, характеризующих логическое и пространственное мышление индивида. В тесты входят логические и арифметические задания, проверка оперативной (кратковременной) памяти, ориентировка в практических ситуациях — умение самостоятельно сопоставлять, обобщать известные факты и т.п. По результатам теста подсчитывается *IQ*. Одним из наиболее известных тестов является тест Айзенка [14]. Более точными являются тесты Д. Векслера, Дж. Равена, Р. Амтхауэра, Р.Б. Кеттелла [15]. На данный момент не существует какого-либо единого стандарта на тесты *IQ*.

Чем более общего вида решается задача, тем менее конкретны её результаты. Если психолога интересует уровень интеллекта индивида, то на практике востребованы оценки компетенций применительно к конкретным областям знания. Два человека с близкими оценками по тестам *IQ* могут существенно различаться в способностях решать различные практические задачи. Здесь под задачей понимается любая проблема, с которой сталкивается индивид. На эти способности накладывается ещё и тип нервной системы, отражающей волевые качества, стрессоустойчивость и пр. Отсюда и следует практика применения специальных тестов на компетенции с учётом времени их решения. Такая практика применима и к системам ИИ, поскольку объектом оценивания является не общий уровень интеллекта, а реализация отдельных функций мозга.

3 Функциональность мозга

Доминирующие позиции английского языка в компьютерных науках отразились на отечественной терминологии. Многие англоязычные термины в этой области введены в русский язык в кириллоязычной записи либо в переводе, который не всегда соответствовал англоязычному оригиналу. Например, слово *integrity* в информационной безопасности было переведено на русский язык как целостность (информации). Между тем, в английском языке имеется в виду *нетронутость* информации, т.е. если субъект тронул информацию (проник к ней), ознакомился с ней в своих целях, но сохранил её целостность (ничего не пропало и не искажено), при этом информационная безопасность может быть нарушена.

Сходные проблемы были отмечены, например, при использовании в разных Про популярного англицизма «концепт», заменившего русское слово «понятие» [8]. Неправильное понимание смысла слова влечёт неправильные действия.

Функции мозга проявляются через акты мышления. Они образуют следующий базис актов мышления индивида: *воспринять* информацию, *преобразовать* её, *сохранить*, *понять*,

представить, присоединить её к имеющемуся знанию, *вспомнить* информацию, *распознать, выбрать* объект, *вообразить, сообразить, рассуждать, предвидеть, править*.

Восприятие мозгом внешней информации осуществляется через органы чувств, а внутренней информации (о состоянии организма) – через нервную систему.

Под *преобразованием* информации понимается как приведение её к форме, удобной для передачи и хранения, так и получение новой информации на основе имеющейся.

Сохранение информации означает её запоминание. Краткосрочное хранение информации осуществляется в оперативной (кратковременной) памяти. Психологи оценивают её объём у среднестатистического человека в 7 ± 2 слова [16].

Понять информацию означает найти её связь с имеющимся знанием, т.е. выразить мысль через известные субъекту понятия [8]. Понимание речи (текста) заключается в расшифровывании сообщения [17, с.105]. Источник сообщения шифрует (кодирует) свою мысль некоторыми словами, погружаемыми в выбранную им грамматическую форму, а получатель сообщения расшифровывает (перекодирует) сообщение в те слова и структуры, которые соответствуют его представлению передаваемой ему мысли [18].

Для себя и для других полученная информация *представляется* в форме речевого акта или изображения. В более широком смысле слово *представить* означает *представить* себя (рефлексия) или другого (другое).

Присоединить полученную информацию к имеющемуся знанию означает сделать единым (целостным) знание с его приращением и в таком виде сохранить его в долговременной памяти.

Вспомнить известную информацию означает извлечь её из долговременной памяти. Удобным способом нахождения нужной информации является использование ассоциации, как связи между отдельными представлениями, при которой одно из них вызывает другое.

Слово *распознать* имеет общий корень со словом «знание». Нельзя распознать то, чего не знаешь. Следовательно, объект уже познан и (его образ) хранится в памяти индивида. В задачу распознавания входит выделение объекта по некоторой совокупности признаков среди других известных или похожих на него объектов.

Под *выбором* понимается нахождение предпочтительного объекта из известного списка, либо класса (образца), которому он принадлежит.

Воображение определяется как «способность человека к спонтанному созданию или преднамеренному построению образов, представлений, идей объектов, которые в пережитом опыте воображающего в целостном виде ранее не воспринимались или же вообще не могут быть восприняты посредством органов чувств» [19]. Именно такое свойство мозга, как воображение, является источником создания искусственных (виртуальных) миров. Озарение (*insight*) является одной из разновидностей воображения.

Слово *сообразение*, кроме традиционного значения «обдумывание», обозначает и более широкий смысл. Он обусловлен наличием приставки «со» к корню «образ»³. Приставка «со» в русском языке обозначает в существительных и прилагательных наличие некоторой взаимосвязи и совместного действия нескольких объектов. Отсюда сообразить – значит сопоставить образы, а в более широком смысле – образовать коалицию. Это значение слова имеет прямое отношение к коллективному поведению индивидов и подразумевает их *согласие* на выполнение совместных действий. Слово *предвидеть* не требует особых пояснений.

Рассуждать означает строить умозаключения на основе исходной информации. В науке исходной информацией для умозаключений служат аксиомы – утверждения, которые при-

³ Образ является общим корнем слов «воображение» и «сообразение» (с заменой буквы з на ж при спряжении слов). В образуемое им словообразовательное гнездо входят также слова «образование», «преобразование» и пр. Все эти слова имеют прямое отношение к познавательному процессу, ибо образ, как изображение, является универсальным языком общения.

нимаются за истину, чтобы служить предпосылкой для дальнейших рассуждений и вывода заключения. Рассуждение включает такие операции, как *сопоставление* разных суждений, *вывод* следствия на основе обобщения известных фактов (от частного к общему) и конкретизации общих закономерностей (от общего к частному).

Править означает формировать сигналы на исполнительный орган для изменения режима его функционирования или направления движения.

На рисунке 1 перечисленные акты мышления сгруппированы по следующим признакам.

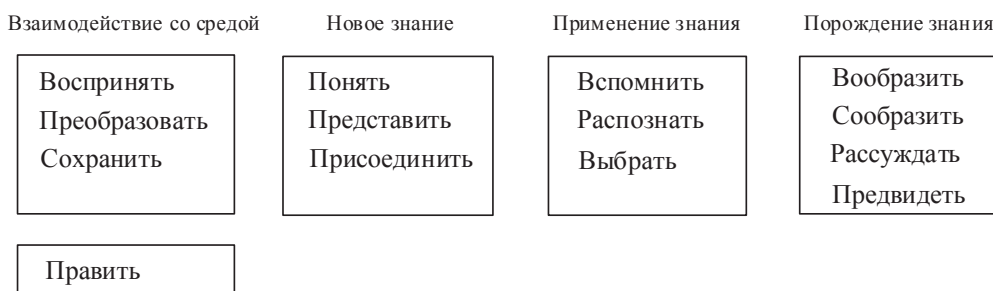


Рисунок 1 – Группы актов мышления

В левую часть рисунка вошли акты мышления, отражающие взаимодействие мозга с внешней средой. Первые три действия относятся к органам чувств и не обязательно связаны с мозгом. С точки зрения обработки информации названные функции соответствуют подготовке данных для обработки, т.е. являются предварительной ступенью познания. Действие *править* использует результаты обработки информации для воздействия на внешнюю или внутреннюю (управление организмом) среду, т.е. то, что в технике называется *управлением*.

Акты *понять*, *представить* и *присоединить* отражают процесс получения нового знания. Познание — совокупность процессов, процедур и методов **приобретения знаний** о явлениях и закономерностях *объективного мира*. Буквально, по-знание – это получение нового знания.

Действия *вспомнить* информацию, *распознать* и *выбрать* объект представляют собой варианты использования имеющегося знания.

Действия *вообразить*, *сообразить*, *рассуждать* и *предвидеть* используют имеющееся знание для *творчества* (получения оригинального знания). Из них действие *вообразить*, т.е. найти образ (войти в него) соответствует озарению. Эти действия следует отнести к варианту познания, заключающегося в приобретении нового знания путём вторичной обработки информации, как высшей ступени познания.

Акты мышления, вошедшие в предложенный базис, с одной стороны не являются элементарными, а с другой стороны могут использоваться в различных сочетаниях для выполнения более сложных познавательных процессов. Например, процесс *объяснить* (сделать ясным смысл) может включать в себя такие акты как *рассуждать* (делать вывод), *преобразовать* и *представить* – изобразить в доступной форме. Процесс *обучения* охватывает первые шесть действий, начиная с восприятия информации.

4 Информатика и ИИ

Назначением мозга является переработка информации [20]. Наука о методах и процессах сбора, хранения, обработки, передачи, анализа и оценки информации с применением компьютерных технологий, обеспечивающих возможность её использования для принятия решений, получила название информатика [21]. Информатика охватывает теоретические дисциплины (такие как теория алгоритмов, теория вычислений, теория информации и автоматиза-

ция) и практические дисциплины (включая проектирование и внедрение аппаратного и программного обеспечения СОИ).

Реализация искусственного мышления не имеет чётких границ между программной и аппаратной составляющими. Граница между этими составляющими мышления может сдвигаться как в одну, так и в другую сторону. Соотношение роли процессов и их носителя нашло отражение и в названии информатики, как науки. В англоязычном названии *computer science* (компьютерная наука) первичен компьютер как средство вычислений. В франко-немецком термине (фр. *informatique*; нем. *informatik*) первичны процессы обработки информации.

Компьютер используется не только для решения вычислительных задач, но и для задач классификации, обучения, распознавания, диагностики, управления, прогнозирования, принятия решений, машинного перевода, обработки текстов на естественном языке, анализа изображений, поиска зависимостей, кластерного анализа и т.д. [22, 23]. Исследования в этой области оформились в научное направление «ИИ». Из многих его определений можно привести описательное определение, связывающее ИИ с ЕИ: *ИИ – это раздел информатики, в рамках которого ставятся и решаются задачи моделирования тех видов человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными*. Возникновение ИИ связано с кибернетикой и ведёт свой отсчёт от Дартмутской Конференции (1956) [24].

Научное направление «ИИ» решает два класса задач: моделирование естественного мышления и применение принципов функционирования живого организма для решения задач математики. Это подтверждает терминология ИИ, опубликованная в словаре [25].

5 Моделирование мышления

Мозг человека представляет собой большую нейронную сеть. Она постоянно анализирует сигналы органов чувств и внутренних органов тела, накопленную ранее информацию, строит и корректирует модели окружающего мира и делает прогнозы на основе этих моделей. При взаимодействии мозга с органами чувств он работает в режиме преобразователя информации.

Способность мозга работать в двух режимах – как *преобразователь* и как *генератор* информации – позволяет отделить автономную работу мозга от его взаимодействия с внешней средой через органы чувств и с организмом через нервную систему. Органы чувств служат для накопления информации о внешней и внутренней среде в период обучения индивида и для решения задач в реальном времени по мере поступления информации, подлежащей обработке. Такое разделение функций мозга позволяет изучать мышление как самостоятельный процесс, хотя бы временно не зависящий от воздействия внешней среды.

Моделирование в совокупности всех актов естественного мышления, по крайней мере, на данном этапе развития науки и техники представляется невозможным. Мозг человека – универсальная ИС, и именно как система сложен для понимания и моделирования. Поэтому распространённый путь исследования – специализация ИС, моделирующих отдельные акты мышления и их совокупности. В моделях ИИ роль мозга, как универсального средства обработки информации, выполняет компьютер, либо сеть компьютеров.

Трудности моделирования заключаются в отсутствии ясной картины функционирования мозга. По энцефалограмме мозга можно только судить об активности нейронов различных участков мозга при решении задач. Частота и количество активных зон характеризует интенсивность процесса мышления. Психологи отмечают максимальную интенсивность мышления у переводчиков [26]. Во время синхронного перевода мозг *параллельно* выполняет четыре операции: *воспринимает* и *обрабатывает* текущий фрагмент сообщения на исходном

языке, *удерживает* в памяти предыдущие части и *порождает* эквивалентное сообщение на языке перевода. Однако при этом неизвестны процессы обработки сигналов, реализующие эти операции. По этим причинам моделирование процессов мышления выполняется на функциональном уровне.

Функциональная модель (Ф-модель) объекта моделирования не различает его функции и реализующие их действия [27]. Это различие проявляется при раскрытии Ф-модели как чёрного ящика. Модель акта мышления конкретизируется структурно-функциональной моделью (СФ-моделью) на принятом уровне общности. Выполняемая мозгом мысль представляется структурно-операционной моделью (СО-моделью). СФ- и СО- модели – это то, что в программировании называют структурой данных и методом соответственно. Поскольку оригинальные СФ- и СО-модели мозга и мышления неизвестны, создаются математические и имитационные модели различных функций мозга.

Моделирование восприятия информации в статье рассматривается в двух аспектах – восприятие внутренней и внешней информации. К внутренней информации относятся сигналы периферической нервной системы индивида. С учётом применения общего языка нейронов для передачи информации внутри организма правомерна аналогия восприятия внутренней информации с процессами сбора и обработки данных в компьютере. К подсистемам СОИ также следует отнести базы данных.

Примером моделирования органов чувств является персептрон, предложенный в 1958 году [28]. Разработанные на основе моделей персептрона и нейрона нейросетевые модели решают задачи классификации и распознавания образов.

Нейросетевые модели являются примером имитационного подхода к решению задачи распознавания. Помимо имитационного подхода задачи распознавания решаются путём классификации образов с применением алгебраических и логических моделей границ между смежными классами, а также с применением метрик таксономии.

В основе формализации понимания лежит *принцип подстановки* – неизвестное выражается через известное. Моделирование систем понятий осуществляется в рамках онтологических моделей. Моделирование понимания осуществляется с применением иерархических семантических сетей [8]. Для моделирования знания используются онтологии и базы знаний. Потребителю знание предоставляется в знаковой и/или образной форме, что предполагает обработку естественного языка и изображений. Вспоминание фактов предполагает применение ассоциативного поиска нужного знания.

Функция *воображения* моделируется моделями вымышленных (виртуальных) миров.

Функция *соображения*, как коллективного действия, моделируется многоагентной системой [29].

Для моделирования функции *предвидения* наряду с прогностическими моделями классической математики применяются, в частности, модели машинного обучения.

Для *объяснения* результатов, получаемых системой ИИ, разрабатываются подсистемы объяснения с применением логического вывода и когнитивной графики.

Характерной особенностью моделей ИИ является моделирование *неопределённости*, свойственной человеческому мышлению и поведению. В отличие от вероятности, как частотной характеристики событий, неопределённость человеческого мнения и поведения определяется экспертным способом (групповой экспертизой). Для решения соответствующих задач применяется, в том числе, нечёткая логика. Она используется и в моделировании рассуждений с оценкой степени истинности заключения. Экспертный характер имеют и модели многомерного оценивания ПрО. Качество моделей многомерного оценивания, как и экспертных систем, зависит от квалификации их разработчиков, что определяет степень доверия к ним.

Перечисленные модели и методы ИИ не претендуют на полноту и приведены как примеры моделирования познавательных функций мозга моделями ИИ.

Несмотря на родство некоторых предложенных слов относительно словообразующего гнезда [30] (например, с корнем образ), они отражают независимые действия. Например, слова *вообразить* и *сообразить* значительно различаются по сути выполняемых действий. В первом случае индивид конструирует искусственный мир, а во втором – решает задачу группового взаимодействия, сообразуя различные сущности.

Независимость базисных функций мозга означает невыводимость одной функции из другой. Это свойство доказывается попарным сопоставлением значений слов, обозначающих функции мозга. Таким же образом доказывается непротиворечивость системы. Ни одна из познавательных функций мозга не исключает другую.

Неизбыточность базиса следует из возможности трактовки слов в самом широком смысле. Это позволяет выводить из них вспомогательные, а, следовательно, зависимые действия мозга. В качестве примера можно рассмотреть распознавание. *Распознать* ситуацию, значит *сопоставить* её со всеми известными ситуациями, для того, чтобы *найти* ближайшую к ней. Подобным образом понятие *рассуждать* раскладывается на такие операции, как *сравнивать*, *обобщать*, *конкретизировать*, находящиеся к нему в отношении «часть-целое». Включение их в базис познавательных функций влечёт избыточность базиса и взаимозависимость познавательных функций.

6 Оценивание уровня интеллектуальности ИС

В состав современного сложного изделия входит ИС, предназначенная для обработки информации и управления исполнительными объектами. Разновидности ИС следует рассматривать как специализированные подсистемы СОИ. Любая из них нуждается в связях с внешней средой, в хранении и передаче данных. Специализация СИИ заключается в моделировании функций мозга. Следовательно, признаками, присущими интеллектуальной составляющей ИС, являются моделируемые ею познавательные функции мозга.

В целом СОИ можно именовать интеллектуальной, если она включает хотя бы одну подсистему ИИ. Для выделения интеллектуальной составляющей ИС можно сформулировать следующие принципы:

- поскольку назначением мозга является обработка информации, за его искусственный аналог принимается СОИ;
- ИС любого назначения является разновидностью СОИ;
- под интеллектуальной составляющей ИС следует понимать её подсистему, моделирующую одну или несколько познавательных функций мозга.

Обработка информации, не связанная с получением новой информации, не относится к познавательным действиям. Это же справедливо и для функции управления (править). Сложнее определить, все ли СОИ, назначением которых является получение новой информации, можно отнести к СИИ.

Например, назначением автопилота является ведение самолёта по заданному маршруту. Для решения этой задачи востребована познавательная функция *распознавание* ситуации. Необходимо обнаружить *расхождение* с заданным курсом (высотой и направлением полёта), при наличии расхождения определить его величину и сформировать управляющее воздействие на соответствующий исполнительный орган (рулевые поверхности). Автопилот, как программно-аппаратный комплекс, моделирует познавательную функцию мозга, используя модель автоматического регулирования, применяемую в различных ПрО. СИИ отличаются

от СОИ по типу используемых моделей. СОИ используют модели, отражающие физические законы. Автопилот и подобные ему системы не относят к СИИ [4].

В отличие от математических моделей, отражающих физические законы, модели ИИ имитируют функцию мозга. Имитационный характер моделей ИИ особенно проявляется в моделях с обучением. Выделение интеллектуальной составляющей ИС представляет собой нетривиальную процедуру. Для её выполнения следует привлекать системный анализ (СА) ИС. На первом этапе необходимо отделить подсистему обработки информации, не связанную с получением новой информации. К таким подсистемам относятся подсистемы сбора, передачи и хранения данных. На следующем этапе следует отделить подсистемы, реализующие математические модели, отражающие физические законы, от подсистем, имитирующих познавательные функции мозга.

Применение СА интеллектуальной составляющей ИС можно показать на примере беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Одной из основных его функций является наблюдение за местностью. В нём видеокамера выполняет функцию человеческого зрения. Однако в СОИ она является источником данных для передачи их оператору и не выполняет интеллектуальных функций по анализу изображений. Сигналы, поступающие от видеокамеры, передаются оператору БПЛА и преобразуются в форму изображения на экране планшета.

Оператора интересует не вся картинка на планшете, а только её информативные участки. Например, для БПЛА военного назначения к ним могут относиться места расположения противника. Оператор должен обнаружить такие места на карте и дать сигнал БПЛА для выполнения очередной операции.

В терминологии ИИ обнаружение информативных признаков на карте называется обработкой изображений. Она связана с моделированием таких функций мозга, как *понимание* изображения и *распознавание* его частей. Моделирование этих познавательных функций требует привлечения дополнительных знаний о закономерностях, с применением которых выделяются информативные участки. Оно возлагается на подсистему обработки изображений. Подсказка в виде указания на информативные участки облегчает работу оператора по принятию решений.

Следующим шагом по повышению уровня интеллектуальности ИС является *выбор* очередности участков, предлагаемых вниманию оператора. Выполнение этой функции требует разработки модуля поддержки принятия решений, как подсистемы ИИ. В том случае, если выбор варианта будет не рекомендательным, а подлежащим исполнению, весь цикл операций по обработке изображений переносится на борт БПЛА.

Количественная оценка интеллектуальности ИС может быть рассчитана как отношение ресурсов, затраченных на реализацию СИИ, к ресурсам, выделенным на реализацию всей ИС. Для решения этой задачи необходимо определить виды ресурсов и единицы их измерения.

Достижения в области микроэлектроники позволяют реализовать модели и методы ИИ такие, например, как нейрокомпьютер, в аппаратном исполнении. Однако общим случаем является программно-аппаратная реализация СОИ. Учитывая это, требуется рассчитать доли аппаратной и программной составляющих интеллектуальной ИС. К аппаратной составляющей СИИ следует относить ту её часть, которая специализирована на реализации моделируемой функции мозга.

Уровень интеллектуальности ИС характеризуется двумя показателями – аппаратным и программным. Каждый из них оценивается как отношение соответствующего ресурса (аппаратного / программного), выделенного на реализацию функции мозга к общему ресурсу ИС. Объем аппаратуры может измеряться, например, в количестве элементов, а объем программ – в килобайтах. В случае реализации нескольких функций мозга в одной ИС показатель её

интеллектуальности рассчитывается как среднее арифметическое отдельных показателей. Аппаратный и программный показатели интеллектуальности ИС могут быть включены в её обозначение. Например, ИС, в которой на реализацию функции мозга затрачено 30% аппаратных и 40% программных ресурсов, может быть обозначена как ИИС-30/40 (интеллектуальная ИС с мерой 30/40).

Анализ функций БПЛА даёт необходимую информацию для расчёта показателя интеллектуальности его ИС. Общий объём аппаратуры и программного обеспечения БПЛА, реализующего все функции наблюдения, известен. В том случае, когда все операции по анализу изображений и управлению БПЛА выполняются вручную, ИС БПЛА не является интеллектуальной. В том случае, когда автоматизировано выделение информативных участков на карте, показатель интеллектуальности ИС определяется как отношение объёма затраченных на обработку изображений аппаратных и программных ресурсов к их общим объёмам в ИС. Если к функции обработки изображений добавляется автоматизация выбора, в числители соответствующих дробей добавляются объёмы ресурсов, востребованных подсистемой выбора. Уровень интеллектуальности ИС при этом возрастает.

Аналогичным образом оценивается соотношение ресурсов, выделяемых на другие информационные и интеллектуальные функции БПЛА, в частности, на функционирование органов «слуха» и «осознания», реагирующих соответственно на ультразвуковое и тепловое облучение БПЛА средствами противника.

Для работы автоматической системы управления требуется только два сигнала – пуск и останов. Примером автоматической системы управления, основанной на строгих математических моделях, является система автоматического регулирования параметров. В силу высокой степени неопределённости выбор на конечном множестве альтернатив и распределённое управление возможно с применением моделей ИИ. Задача автоматического выбора альтернативы сводится к переходу от системы поддержки принятия решений к системе принятия решений. Она может быть решена средствами ИИ для штатных ситуаций функционирования объекта. В нештатных ситуациях приходится прибегать к помощи человека.

Автоматизация распределённого управления опирается на достижения теории многоагентных систем. Коллективный разум – это общий или групповой интеллект, который возникает в результате сотрудничества, коллективных усилий и конкуренции многих людей и проявляется в принятии решений на основе согласия (консенсуса) [31]. Здесь также существует возможность автономного функционирования многоагентной системы в штатных ситуациях. Уровень интеллектуальности управления можно определить отношением штатных ситуаций ко всем возможным ситуациям. Трудность заключается в определении перечня нештатных ситуаций. Она преодолима, если под нештатными ситуациями понимать те, автоматизация которых невозможна или нецелесообразна по экономическим причинам. В этом случае они известны, и названное отношение может быть вычислено.

Заключение

Предложенный в работе базис познавательных функций мозга послужил основой для систематизации операций со знанием. Новое знание различается по способам его приобретения – из внешних источников и путём самостоятельного вывода. Действия по применению знания выделены в отдельную группу. Действиям мозга по взаимодействию с внешней средой поставлена в соответствие подсистема сбора, передачи и хранения данных, входящая в состав любой СОИ.

Трудность в выделении интеллектуальной составляющей ИС заключается в том, что, по крайней мере, некоторые функции мозга могут моделироваться математическими моделями,

отражающими физические законы. Поэтому за признак, выделяющий модели ИИ, принят имитационный подход к их созданию. Имитационное моделирование позволяет формализовать неопределённость, присущую мышлению, с применением экспертных методов, нечёткой логики и машинного обучения.

Для получения количественной оценки интеллектуальной составляющей ИС необходима информация о способах реализации познавательных функций и выделенных на них ресурсов. Эта информация известна создателям изделий. Предложенный подход может быть применён в организациях-разработчиках ИС.

Список источников

- [1] Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. Указ Президента РФ от 10.10.2019 N 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации".
- [2] **Боргест Н.М.** Стратегии интеллекта и его онтологии: попытка разобраться // Онтология проектирования. 2019. Т.9, №4(34). С.407-428. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.
- [3] **Душкин Р.В.** Искусственный интеллект. М.: ДМК Пресс, 2019. 380 с. <https://www.litres.ru/roman-dushkin/iskusstvennyy-intellekt/>.
- [4] **Самойлов Д.В.** Беспилотные комплексы с технологиями искусственного интеллекта как приоритетное направление развития вооружения и военной техники в ведущих зарубежных странах // Авиационные системы, 2022, № 8, с.2-29.
- [5] **Самойлов Д.В.** Беспилотные комплексы с технологиями искусственного интеллекта как приоритетное направление развития вооружения и военной техники в ведущих зарубежных странах (Продолжение) // Авиационные системы, 2022, № 9, с.35-56.
- [6] *Encyclopaedia Britannica*. Архивная копия от 19 октября 2014 на *Wayback Machine*.
- [7] **Colman Andrew M.** A Dictionary of Psychology (3rd ed.). Oxford [etc.]: Oxford University Press. 2008.
- [8] **Микони С.В.** Понятность онтологической модели как характеристика её качества // Онтология проектирования. 2021. Т.11, №1(39). С.20-34.
- [9] Большой толковый словарь русского языка / Гл. ред. С.А. Кузнецов. СПб.: Норинт, 1998.
- [10] APA Dictionary of Psychology by Gary R. VandenBos (Ed.) Washington, DC: American Psychological Association, 2007. 1024 p. ISBN 978-1-59147-380-0.
- [11] **Успенский В.А.** Теорема Гёделя о неполноте в элементарном изложении // Успехи математических наук. 1974. Т. XXIX. Вып. 1 (175). С.3-46.
- [12] **Anderson J.R.** Cognitive Psychology and Its Implications. 2005. NY: Worth Publishers. 519 p.
- [13] Коэффициент интеллектуальности // Большая Советская энциклопедия (в 30 т.) / А.М. Прохоров (гл. ред.). 3-е изд. М.: Сов. энциклопедия, 1973. Т. XIII. С.306. 608 с.
- [14] **Айзенк Г.** Новые IQ тесты. – М.: ЭКСМО, 2003. 192 с. ISBN 5-04-006713-5.
- [15] **Дружинин В.Н.** Психология общих способностей. 3-е издание. СПб.: Питер. 2007. 368 с.
- [16] **Miller G.A.** The Magical Number Seven, Plus or Minus Two// The Psychological Review, 1956. V.63, p.81–97.
- [17] **Полонников Р.И.** Избранные труды в двух томах. Том 1. СПб: "Анатолия". 2013. 495 с.
- [18] **Редозубов А.Д.** Формализация смысла. Часть 3. Формирование контекстов // Онтология проектирования. – 2021. Т.11, №4(42). С.437-449. DOI:10.18287/2223-9537-2021-11-4-437-449.
- [19] **Климов Е.А.** Основы психологии: Учебник для вузов. М.: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1997. 295 с.
- [20] **Линдсей П., Норман Д.** Переработка информации у человека. Перевод с англ. по ред. Лурия А.Р. М.: Мир, 1974. 550 с.
- [21] **Михайлов А.И., Черный А.И., Гиляревский Р.С.** Основы информатики. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1968.
- [22] **Бир С.** Кибернетика и менеджмент: Пер. с англ. / Под ред. А.Б. Челюсткина. Изд. 2-е. М.: Комкнига. 2006. 280 с.
- [23] **Чень Ч., Ли Р.** Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. М.: Наука. 1983. 360 с.
- [24] **Moore J.** The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years. DOI:10.1609/aimag.v27i4.1911.
- [25] Толковый словарь по искусственному интеллекту (Авторы-составители А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов). Москва, Радио и связь, 1992. <http://www.raai.org/library/tolk/aivocpred.html>.
- [26] **Gile D.** Variability in the perception of fidelity in simultaneous interpretation. *Hermes* 1999. 22. P.51-79.
- [27] **Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН. 2018. 314 с.

- [28] **Розенблатт Ф.** Перцептрон: вероятностная модель хранения и организации информации в мозге. *Корнельская авиационная лаборатория, Психологическое обозрение*, 1958. Т.65, №6, С.386-408. DOI:10.1037/h0042519.
- [29] **Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В.** Многоагентные системы. Обзор. <https://textarchive.ru/c-1842736-p6.html>.
- [30] **Тихонов А.Н.** Новый словообразовательный словарь русского языка для всех, кто хочет быть грамотным. – М.: АСТ, 2014. 639 с.
- [31] **Скобелев П.О.** Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге // *Онтология проектирования*. 2013. №2. С.26-48.

Сведения об авторе



Микони Станислав Витальевич, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994), ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций 350 работ, из них 2 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта. AuthorID (РИНЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; <https://orcid.org/0000-0001-7153-6804>. smikoni@mail.ru.

Поступила в редакцию 21.01.2023, после рецензирования 02.02.2023. Принята к публикации 25.02.2023.



Approach to assessing the level of intelligence of an information system

© 2023, S.V. Mikoni

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract

Based on the analysis of the definitions of natural and artificial intelligence (AI), basic functions are proposed that reflect the cognitive activity of the brain. Their interpretation in a broad sense, using the rules of Russian grammar, made it possible to describe the entire range of concepts used in AI. The possibility of expressing basic functions in terms of simpler ones and combining them into more complex ones is shown. The completeness, consistency and non-redundancy of the basis of the cognitive functions of the brain are substantiated. The 14 basic functions are divided into 4 groups, reflecting different aspects of working with knowledge. This made it possible to consider the AI system as a specialized information processing system. For a sign that distinguishes the AI subsystem in the information system, a simulation approach to modeling the functions of the human brain is adopted. The level of intelligence of an information system is characterized by indicators of the share of hardware and software required for the implementation of AI models in the total amount of hardware and software of the information system. An example of assessing the level of intelligence of an information system of an unmanned aerial vehicle is given.

Key words: natural intelligence, artificial intelligence, mind, intelligence, level of intelligence, information technology, information system.

Citation: Mikoni SV. Approach to assessing the level of intelligence of an information system [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(1): 29-43. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-29-43.

Financial support: Research carried out on this topic was carried out under budget topic FFZF-2022-0004.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 - Groups of acts of thinking

References

- [1] National strategy for the development of artificial intelligence for the period up to 2030. Decree of the President of the Russian Federation of October 10, 2019 N 490 "On the development of artificial intelligence in the Russian Federation" [In Russian].
- [2] **Borgest NM.** Strategies of intelligence and its ontology: an attempt to understand [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 407-428. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-407-428.
- [3] **Dushkin RV.** Artificial Intelligence [In Russian]. Moscow: DMK Press, 2019. 380 p. <https://www.litres.ru/romandushkin/iskusstvennyy-intellekt/>.
- [4] **Samoilov DV.** Unmanned systems with artificial intelligence technologies as a priority direction for the development of weapons and military equipment in leading foreign countries [In Russian]. *Aviation systems*. 2022; 8: 2-29.
- [5] **Samoilov DV.** Unmanned systems with artificial intelligence technologies as a priority direction for the development of weapons and military equipment in leading foreign countries (Continuation) [In Russian]. *Aviation systems*. 2022; 9: 35-56.
- [6] Encyclopaedia Britannica Archived October 19, 2014 at the Wayback Machine.
- [7] **Colman Andrew M.** A Dictionary of Psychology (3rd ed.). 2008. Oxford [etc.]: Oxford University Press. ISBN 9780191726828.
- [8] **Mikoni SV.** Comprehensibility of an ontological model as a characteristic of its quality [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 20-34. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-20-34.

- [9] Big explanatory dictionary of the Russian language [In Russian]. Ch. ed. S. A. Kuznetsov. - St. Petersburg: Norint, 1998.
- [10] **Gary R.** VandenBos (ed.), APA Dictionary of Psychology (Washington, DC: American Psychological Association, 2007, ISBN 978-1591473800).
- [11] **Uspensky VA.** Gödel's incompleteness theorem in an elementary presentation [In Russian]. *Uspekhi matematicheskikh nauk.* 1974. T. XXIX. Issue. 1 (175). pp. 3-46.
- [12] **Anderson JR.** Cognitive Psychology and Its Implications. 2005. NY: Worth Publishers. 519 p.
- [13] The coefficient of intelligence [In Russian]. Great Soviet Encyclopedia (in 30 volumes) / A. M. Prokhorov (editor-in-chief). 3rd ed. Moscow: Sov. Encyclopedia, 1973. T. XIII. P.306. 608 p.
- [14] **Eysenck G.** New IQ tests. Moscow: EKSMO, 2003. 192 p. ISBN 5-04-006713-5.
- [15] **Druzhinin VN.** Psychology of general abilities. 3rd edition. St. Petersburg: Peter. 2007. 368 p.
- [16] **Miller GA.** The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. *The Psychological Review*, 1956; 63: 81—97.
- [17] **Polonnikov RI.** Selected works in two volumes [In Russian]. Volume 1. St. Petersburg ITMO University. Anatolia. 2013. 495 p.
- [18] **Redozubov AD.** Formalization of the meaning. Part 3. Formation of contexts [In Russian]. *Ontology of Designing.* 2021; 11(4): 437-449. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-437-449.
- [19] **Klimov EA.** Fundamentals of Psychology: A textbook for universities [In Russian]. Moscow: Culture and sport, UNITI, 1997. 295 p.
- [20] **Lindsay P, Norman D.** Information processing in humans [In Russian]. Translation from English. by red. Luria A.R. Moscow: Mir, 1974. 550 p.
- [21] **Mikhailov AI, Cherny AI, Gilyarevsky RS.** Fundamentals of Informatics [In Russian]. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: Nauka, 1968.
- [22] **Beer S.** Cybernetics and Management [In Russian]. Per. from English. / Ed. A.B. Chelyustkina. Ed. 2nd. [In Russian]. Moscow: Komkniga. 2006. 280 p.
- [23] **Chen Ch, Li R.** Mathematical logic and automatic theorem proving [In Russian]. Moscow. Nauka. 1983. 360 p.
- [24] **Moor J.** The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years [In Russian]. DOI:10.1609/aimag.v27i4.1911
- [25] Explanatory Dictionary of Artificial Intelligence [In Russian]. Authors-compilers A.N. Averkin, M.G. Gaaze-Rapoport, D.A. Pospelov. Moscow, Radio and communication, 1992. <http://www.raai.org/library/tolk/aivopred.html>.
- [26] **Gile D.** Variability in the perception of fidelity in simultaneous interpretation. *Hermes* 1999. 22. P.51-79.
- [27] **Mikoni SV, Sokolov BV, Yusupov RM.** Qualimetry of models and multi-model complexes [In Russian]. Moscow: RAN, 2018. 314 p.
- [28] **Rosenblatt F.** Perceptron: a probabilistic model of information storage and organization in the brain [In Russian]. Cornell Aviation Laboratory, *Psychological Review*, 1958; 65(6): 386-408. DOI: 10.1037/h0042519.
- [29] **Gorodetsky VI, Grushinsky MS, Khabalov AV.** Multi-agent systems. Review [In Russian]. <https://textarchive.ru/c-1842736-p6.html>.
- [30] **Tikhonov AN.** A new word-building dictionary of the Russian language for everyone who wants to be literate. Moscow: AST, 2014. 639 p. ISBN 978 5 17 082826 5.
- [31] **Skobelev PO.** Situation-driven decision making and multi-agent technology: finding solutions in dialogue [In Russian]. *Ontology of Designing.* 2013; 3(2): 26-48.

About the author

Stanislav Vitalievich Mikoni (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992), Professor (1994), Leading Researcher of the St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences. He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (1998). He is the author and a co-author of 350 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematical, system analyses, artificial intelligence, and decision making theory. AuthorID (РИИЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; <https://orcid.org/0000-0001-7153-6804>. smikoni@mail.ru.

Received January 21, 2023, Revised February 2, 2023. Accepted February 25, 2023.