# Перспективы использования комплекснозначных логик в системах искусственного интеллекта

**И.Э. Сулейменов[1], Е.С. Витулёва[2], О.А. Габриелян[1]**
[1]Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия,
[2]Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан
e-mail: Lizavita@list.ru

***Аннотация***
*Показано, что решение проблемы сущности интеллекта (включая интеллект человека) является ключевой для дальнейшего развития систем искусственного интеллекта. На основе рассмотрения интеллекта человека как сложно структурированной системы переработки информации показано, что критерии отличия «машинного» интеллекта от «истинного», восходящие к тесту Тьюринга, следует признать несостоятельными.-Показано, что более адекватным является использование такого критерия проявлений интеллекта как способность лгать. Подчеркивается, что данная способность не обаятельно несет негативную коннотацию, так как она неразрывно связана со способностями к проявлениям фантазии, а, следовательно, к творчеству. Показано, что первым шагом на пути обеспечения данного критерия является создание систем искусственного интеллекта, оперирующих многозначными логиками различного типа. Обсуждаются возможности использования логических переменных, представляемых комплексными величинами, т.е. использующими логическую мнимую единицу. Показано, что использование комплекснозначных логик позволяет перейти логикам нового типа, построение которых коррелирует с древневосточными философскими системами. Показано, что аппарат многозначных логик во многих важных случаях допускает приведение к алгебраическим системам. Предложен аналог полинома Жегалкина для многозначных логик, отвечающих небинарным полям Галуа позволяющий сводить любые логические операции к алгебраическим.*

***Ключевые слова***
*Искусственный интеллект, многозначная логика, полином Жегалкина, поля Галуа, закон исключенного третьего, алгебраическое расширение, сущность интеллекта.*

В дискуссиях, затрагивающих сопоставление искусственного интеллекта (ИИ) с интеллекта с интеллектом человека, часто не принимается во внимание, что интеллект человека в действительности прошел весьма сложный эволюционный путь, на протяжении которого его характер так или иначе трансформировался. Наиболее показательным в данном отношении являются работы Люсьена Леви-Брюля., в частности, [1], в которых был сделан вывод о том, что в примитивных культурах отсутствовало логическое мышление как таковое, т.е. тот аппарат формальной логики, который восходит к Аристотелю, есть позднейшее изобретение. Это замечание является существенным, как минимум, потому что в дискуссиях на тему «может ли машина мыслить», ведущихся еще с 60-х годов прошлого века, мышление, как правило, рассматривается как нечто, тесно связанное с логикой.

Более того, в многочисленных исторических исследованиях, на которых, в частности, базировались работы Мирча Элиаде [2,3], показано, что мифы, сформированные культурными народами в античности (Древняя Греция, Древний Египет) отнюдь не следует трактовать как некую разновидность вымысла. Миф являлся (во многом является и сейчас [2,3]) средством рефлексии действительности. Именно посредством мифа, например, в эпоху классической Греции или человек упорядочивал свое видение окружающей действительности. Миф регламентировал его жизнедеятельность, придавал целостность обществу и т.д. Фактически миф выполнял те функции, которые позже стали выполнять религия, наука и право – все эти области человеческой деятельности порождены мифологической картиной мира, которая со временем перестала удовлетворять потребностям общества. Не будет большим преувеличением утверждать, что религия, наука и право имеют своим первоисточником миф. Как отмечал еще Бертран Рассел [4], даже в классической механике можно увидеть следы анимизма, уже не говоря о том, что страх перед карой богов, о которой говорят классические греческие мифы де-факто выполнял те функции, которые позже стало выполнять юриспруденция.

Регул, ставший в истории примером верности данному слову, скорее всего вернулся на верную казнь только потому, что поклялся богами, в которых верил.

Эти соображения, подробнее отраженные в [5], заставляют существенно иначе взглянуть на критерии, позволяющие проводить различия между «истинным интеллектом» и искусственным, точнее, тем, который построен на принципах, в основе которых, в конечном счете лежит математическая логика, а, следовательно, и категория Истины, в интерпретации, даваемой классической философией [6]. Подчеркнем, что именно это и составляет основу и того, что именуется двоичной логикой, и всего современного «цифрового мира», частью которого пока что остаются системы искусственного интеллекта.

Как показывает краткий обзор, представленный выше, мышлению человека изначально отнюдь не присущи представления об истине – во всяком случае в современной трактовке этого понятия, но это отнюдь не означает, что наши достаточно отдаленные предки не обладали интеллектом. Интеллект подавляющего большинства людей человека, строго говоря, и сейчас оперирует совсем другими конструкциями (в частности, мифологическими [2,3]), к которым истинность имеет только косвенное отношение. Это – достаточное основание для того, чтобы отказаться от использования таких критериев как тест Тьюринга и ему аналогичных [7]. Впрочем, стоит отметить, что критика применимости теста Тьюринга звучит уже достаточно давно, причем с разных позиций [8].

Мы исходим из того [7], что принципиальным отличием интеллекта человека от условно «машинного» (в том не вполне определенном смысле, в котором этот термин использовался и используется в дискуссиях на тему «способна ли машина мыслить») является ***способность осознанно и целенаправленно лгать***.

Подчеркиваем, что данное утверждение не предусматривает обязательную негативную коннотацию. В сущности, именно способность лгать и лежит в основе того, что именуется творчеством. Человек, прозывавшийся Евгением Онегиным, никогда не жил в реальном Санкт-Петербурге. Роман А.С. Пушкина, главным героем которого является Онегин (как и любой другой), есть вымысел, т.е. с сугубо формальной точки зрения – ложь.

Одни и те же механизмы функционирования интеллекта отвечают и за творчество, и за сознательный обман. Конструирование математической модели реального физического процесса – это такой же акт творчества как сочинение романа. Генерируется некий идеализированный конструкт, плод фантазии. Эта картина только потом соотносится с реальностью, причем трактовка термина «реальность» в этом предложении более чем вариативна [7]. Так, применительно к литературному творчеству принято говорить о художественной правде. Модель физического явления может быть вполне работоспособной даже тогда, когда выясняется, что она вообще никакого отношения к действительности не имеет.

Подчерним также, что и миф является, вообще говоря, некоей моделью мира. Так, космогонические мифы Древней Греции – особенного в изложении Гесиода (поэма «Теогония») – строили весьма последовательную картину происхождения сущего. Подчеркнем еще раз, что вопрос о соответствии модели реальности далеко не однозначен. Так, многие модели физических явлений вполне удовлетворительно описывали наблюдаемые явления, хотя впоследствии они были признаны не имеющими отношения к реальности (модель эфира, например). Сходным образом, и мифологическая картина мира, заведомо являющаяся порождением фантазии или творчества, также была (на определенном историческом этапе) вполне работоспособной, во всяком случае с точки зрения обеспечения управляемости социума.

Таким образом вопрос «может ли машина мыслить?» следует переформулировать – «может ли машина целенаправленно солгать?» [7].

Парадоксально, но искусственный интеллект невозможно научить творить, не заложив в него механизмы, аналогичные тем, что позволяют человеку лгать.

Разумеется, нет смысла конструировать систему, которая будет целенаправленно обманывать своих разработчиков, но сформулированные выше тезисы, как минимум, отчетливо показывают, насколько важным для дальнейшего развития систем искусственного интеллекта является возможность оперировать с представлениями, не укладывающимися в рамки примитивно понимаемого противопоставления «Истина – Ложь» [7].

В данной работе в качестве инструмента, позволяющего сделать по крайней мере первый шаг в обозначенном направлении, предлагается комплекснозначная логика.

**Комплекснозначные логики и оппозиция «Истина – Ложь»**

Обратимся к тезису, названному в [9] тезисом Мальцева – Тарского. Он гласит, что всякое описание ситуации, которое, с точки зрения человека, является полным, точным и формальным, может быть представлено в виде алгебраической системы.

Этот тезис, как справедливо отмечается в [9], никто не доказал, но и не опроверг. Однако, исходя из него, следует попытаться сделать по, по крайней мере, первые шаги, к тому, что в работе [7] было названо «формализацию процесса сознательного обмана».

Таким шагом, с нашей точки зрения, является разработка формальных логик, в которых сам характер противопоставления истины и лжи меняет смысл.

В настоящее время существует целый ряд логических систем, которых не предполагают выполнения закона исключенного третьего [10,11], который является базовым для классической логики (всякое высказывание либо истинно, либо ложно). В частности, в такие логические системы, восходящие к трудам Лукасевича [12], созданным под влиянием успеха неевклидовых геометрий, и его последователей наряду с логическими переменными «Итина» и «Ложь», вводится еще одна переменная, которая часто трактуется как «Неопределенно». Соответственно, логика становится, не двоичной, а троичной. Сегодня многозначные логики оперируют не только тремя, но и большим количеством переменных. В данном направлении получены многие существенные результаты [13,14], и уже со всей отчетливостью ставится вопрос об их использовании для создания систем искусственного интеллекта различных разновидностей [15].

Однако, если рассматривать данные логики с общеметодологической (философской) точки зрения [16,17], то следует заключить, что характер оппозиции «Истина – Ложь» в них де-факто сохранил аристотелевскую трактовку. Как альтернативу целесообразно рассматривать [7], например, древнеиндийские/буддистские философские концепции, утверждавших, что истина вообще не может быть выражена в словах (истина лежит вне «Да» или «Нет»).

В VI–IV вв. до н.э. в Индии была разработана концепция «чатушкуотика» (т.е. «имеющая четыре вершины»), оперирующая четырьмя вариантами суждения о предмете: он есть, он не-есть, он и есть и не-есть, он ни есть, ни не-есть [18]. В дальнейшем она была существенно усложнена, но для целей данной работы достаточно ограничится аналогиями с простейшим вариантом.

Суждение такого типа, как «предмет и существует, и не существует одновременно» и суждение, сопряженное ему в смысле чатушкуотики, на формализуемом языке допустимо описывать через ***мнимую*** компоненту логических переменных.

Соответственно, при таком подходе перечень логических значений существенно расширяется; наряду с «Да», «Нет», «Неопределенно» как в логических системах, восходящих к логике Лукасевича, противопоставление «Да» - «Нет» дополняется парой на мнимой оси, которая также представляет собой противопоставление «мнимое Да» - «мнимое Нет». Одна из простейших трактовок последней пары состоит, например, в следующем:

- Истинно то, что первичное противопоставление подразумевает «по умолчанию»
- Ложно то, что первичное противопоставление подразумевает «по умолчанию».

Применительно к аппарату диалектических категорий [17,19] такие суждения допускают предельно прозрачную интерпретацию. Предмет/сущность может быть описана в терминах определенного противопоставления, тогда мнимая часть логической переменной принимает положительное значение независимо от того, какой из вариантов базового суждения верен и напротив, предмет/сущность вообще не описывается через такое противопоставление (упрощая, данный вопрос не имеет к нему отношения).

Комплексная логическая переменная представима в обычной для комплексных чисел форме

$$a = a_1 + i a_2 \leftrightarrow (a_1, a_2) \qquad (1)$$

Рассмотрим одну из алгебраических структур, которая может быть положена в основу построения комплекснозначных логик. Классическая логика, оперирующая логическими значениями «Истина» и «Ложь», как известно, теснейшим образом связана с двоичной алгеброй, операции которой сводимы к операциям над двумя элементами 0 и 1 поля Галуа $GF(2)$.

Исследования в области многозначных логик, как правило, оперируют табличной формой представления логических операций (таблицами истинности [14]). Уже для логик, оперирующих четырьмя возможными значениями логических переменных, такое представление становится весьма громоздким. Поэтому представляется целесообразным начать с построения поля Галуа, которое для комплекснозначной логики будет играть такую же роль, что поле $GF(2)$ – для классической.

Рассмотрим множество сумм вида (1), в котором компоненты $a_1, a_2$ могут приобретать значения из тройки (-1,0,1), что соответствует полю Галуа $GF(3)$, т.е. троичной логике в формулировке работ [20,21].

Определим операцию суммирования в соответствии с обычной записью

$$a+b=a_1+ia_2+b_1+ib_2=(a_1+b_1)+i(a_2+b_2), \qquad (2)$$

а операции сложения для действительной и мнимой частей как

$$1+1=-1; -1-1=1; -1+1=1-1=0, \qquad (3)$$

$$i+i=-i; -i-i=i; -i+i=i-i=0 \qquad (4)$$

Правила умножения остаются теми же, что и при классическом использовании комплексных чисел, в частности,

$$-1\cdot -1=1; i\cdot i=-1; i\cdot(a_1+ia_2)=ia_1-a_2 \qquad (5)$$

Непосредственной проверкой можно легко показать, что для рассматриваемого множества, содержащего 9 элементов (Таблица 1), наделенного свойствами (1) - (4), выполняются аксиомы поля. Поскольку все поля Галуа с одинаковым числом членов изоморфны, можно утверждать, что данное множество есть поле Галуа $GF(3^2)$.

Для наглядности выпишем соотношение для одного из частных случаев вычислений при помощи правил (1) – (4)

$$(1\pm i)\cdot(1\pm i)=1\pm i\pm i-1=\mp i, \qquad (6)$$

которое иллюстрирует, замкнутость рассматриваемого поля относительно определённых на нем операций сложения и умножения.

Таблица 1. Элементы поля Галуа $G=GF(3^2)$ в используемом представлении.

| $a$ | $a_2=-1$ | $a_2=0$ | $a_2=1$ |
|---|---|---|---|
| $a_1=-1$ | $a_{11}=-1-i$ | $a_{12}=-1$ | $a_{13}=-1+i$ |
| $a_1=0$ | $a_{21}=-i$ | $a_{22}=$¿0 | $a_{23}=i$ |
| $a_1=1$ | $a_{31}=1-i$ | $a_{32}=$¿1 | $a_{33}=1+i$ |

Покажем, что произвольную операцию вида

$$S=S(x,y); x,y\in G, \qquad (7)$$

которую можно трактовать как логическую, можно представить в виде полинома от $x, y$, который является аналогом полинома Жегалкина для рассматриваемого случая.

Составим полином, в котором использованы обозначения Таблицы 1.

$$f(x)=\prod_{i,j=1}^{3}(x-a_{i,j}) \qquad (8)$$

Используя тождество,

$$(x-a)(x+a)=x^2-a^2 \qquad (9)$$

доказываемое для случая рассматриваемого поля непосредственной проверкой, а также равенство (6), данный полином можно привести к виду

$$f(x)=x(x^2-i)(x^2+i)(x^2-1)(x^2+1)=x(x^4+1)(x^4-1)=x^9-x \qquad (10)$$

Подчеркиваем, что целые числа 2, 4 и т.д. ***не являются*** элементами рассматриваемого поля, т.е. соответствующие степени следует рассматривать просто как сокращенную форму записи

$$x^n=\underbrace{x\cdot x\cdot\ldots\cdot x}_{n} \qquad (11)$$

Подчеркнем также, что результат (10) является более чем ожидаемым, так как в конечных коммутативных телах все элементы за исключением нуля являются корнями уравнения

$$f_0(x)=x^s-1=0, \qquad (12)$$

т.е. правую часть соотношения (10) можно было записать сразу, а выкладка приводится только для наглядности.

Используя (10), можно построить многочлены вида

$$f_{i,j}(x)=\frac{f(x)}{(x-a_{i,j})}, \qquad (13)$$

для которых по построению справедливо

$$f_{i_0,j_0}(a_{i,j})=0;\, i\neq i_0,\, j\neq j_0 \qquad (14)$$

Используя соотношение (14), можно записать аналог полинома Жегалкина для любой функции от аргументов $x, y$, которая интерпретируется как логическая.

Имеем

$$S(x,y)=\sum_{i_1,j_1,i_2,j_2=1}^{3}\frac{S_{i_1,j_1,i_2,j_2}}{f_{i_1,j_1}(a_{i_1,j_1})f_{i_2,j_2}(a_{i_2,j_2})}f_{i_1,j_1}(x)f_{i_2,j_2}(y) \qquad (15)$$

где величины $S_{i_1,j_1,i_2,j_2}$ фактически представляют собой «табличное» перечисление значений, которые принимает функция $S(x,y)$ при соответствующих значениях аргументов.

При подстановке в (15) конкретных значений двух аргументов $x=a_{i_{01},j_{01}}$, $y=a_{i_{02},j_{02}}$ в ноль, по построению функций (13) обращаются все слагаемые, кроме того, которое отвечает конкретной комбинации значений, что непосредственно вытекает из (14).

$$S(a_{i_1,j_1},a_{i_2,j_2})=S_{i_1,j_1,i_2,j_2} \qquad (16)$$

Тем самым, соотношение (15) позволяет реализовать произвольную функцию, принимающую значения в поле $G=GF(3^2)$.

Таким образом, существует достаточно простой инструмент, который позволяет сводить любые операции многозначных логик, допускающих представления в полях Галуа, к алгебраическим. Это, в частности, позволяет отказаться от использования таблиц истинности, которые при переходе к логикам с большим количеством переменных становятся весьма громоздкими. В частности, этот инструмент может быть использован и при работе с комплекснозначными логиками, оперирующими мнимой логической единицей.

**Заключение**

Таким образом, существует возможность свести любые построения в терминах комплекснозначных логик к операциям с многочленами, заданными над полем $GF\left(3^2\right)$. Данный подход допускает естественное обобщение на функции, интерпретируемые как логические, и зависящие от произвольного числа аргументов. Для этого достаточно записать аналог выражения (15) для случая большего числа аргументов.

Шире, результаты данной работы говорят о том, что строя нестандартные логики (их множественность, реализованная на данном этапе развития философии логики и родственных дисциплин, несомненно отвечает многообразию способов рассуждений, которыми может пользоваться интеллект, достойный так именоваться), можно двигаться не путем «алгебраизации логики», но и идти в противоположном направлении, т.е. отталкиваясь от некоей алгебраической системы, строить логическую. Существующее разнообразие неклассических (неаристотелевских) логик позволяет ставить вопрос именно так, то есть, используя те или иных алгебраические структуры, например, хорошо изученные поля Галуа, допустимо придавать их элементам (и операциям над ними) логический смысл.

Пример фактического использования данного подхода также представлен в данной работе. Использовано алгебраическое поле Галуа, построенное методом алгебраических расширений, в котором фигурирует логическая мнимая единица. Такое поле, а точнее соответствующая ему многозначная логика, допускает интерпретацию на основе сопоставления с древневосточными философскими системами.

Построенная комплекснозначная логика может рассматриваться как первый шаг на пути последовательной формализации категории Лжи (понимаемой не как примитивное противопоставление истине, но как способности рассуждать о несуществующем, например, солгать). Такого рода подход представляется перспективным, так как, как показано в работе, именно способность к обману, неотделимая от способности к творчеству и является базовым критерием отличия «истинного» интеллекта от машинного.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. Lévy-Bruhl, L. (1963). Le surnaturel et la nature dans la mentalité primitive. Presses universitaires de France.
2. Eliade, M. (2021). The myth of the eternal return: Cosmos and history (Vol. 122). Princeton University Press.
3. Eliade M. The sacred and the profane: The nature of religion. – Houghton Mifflin Harcourt, 1959.
4. Рассел Б. История западной философии. М.: Изд-во АСТ. 2017. – 1024 с.
5. Хазиев В. С. О понятии «объективная истина» //Философия и общество. – 2013. – №. 2 (70). – С. 47-64.
6. Нечаев С. Ю. Китайская комната Дж. Р. Серля в контексте проблем философии искусственного интеллекта //Известия Саратовского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. – 2010. – Т. 10. – №. 4. – С. 19-23.
7. Gabrielyan O.A., Vitulyova Ye. S., Suleimenov I. E. Multi-valued logics as an advanced basis for artificial intelligence // Wisdom, march 2022, accepted
8. Луценко Е. В. «Антитьюринг», или критика теста Тьюринга с позиций информационно-функциональной теории развития техники //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2007. – №. 34. – С. 140-158.
9. Пальчунов Д.Е. Моделирование мышления и формализация рефлексии. I: Теоретико-модельная формализация онтологии и рефлексии // Философия науки. 2006. No 4 (31). С. 86–114.
10. Caret, C. (2017). Hybridized paracomplete and paraconsistent logics. The Australasian Journal of Logic, 14(1).
11. Abe, J. M., Nakamatsu, K., & da Silva Filho, J. I. (2019). Three decades of paraconsistent annotated logics: a review paper on some applications. Procedia Computer Science, 159, 1175-1181.
12. Bofill, M., Manyà, F., Vidal, A., & Villaret, M. (2019). New complexity results for Łukasiewicz logic. Soft Computing, 23(7), 2187-2197.
13. Kulik, B. A. (2007). N-tuple algebra-based probabilistic logic. Journal of Computer and Systems Sciences International, 46(1), 111-120.
14. Marcos J. On a Problem of da Costa // Essays on the Foundations of Mathematics and Logic 2 / Ed. by G. Sica. Polimetrica, 2005. P. 53–69.

15. Suleimenov, I. E., Matrassulova, D. K., Moldakhan, I., Vitulyova, Y. S., Kabdushev, S. B., & Bakirov, A. S. (2022). Distributed memory of neural networks and the problem of the intelligence's essence. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 11(1).
16. Suleimenov, I.E., Vitulyova, Y.S., Bakirov, A.S., Gabrielyan, O.A., 2020: Artificial Intelligence: What is it? ACM International Conference Proceeding Series. 22–25. https://doi.org/10.1145/3397125.3397141
17. Vitulyova, Y.S., Bakirov, A.S., Baipakbayeva, S.T., Suleimenov, I.E., 2020: Interpretation of the category of complex in terms of dialectical positivism. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 946(1), 012004. 10.1088/1757-899X/946/1/012004
18. Максимов Д. Ю. Логика Н.А. Васильева и многозначные логики //Логические исследования. – 2016. – Т. 22. – №. 1.
19. Ibragim Suleimenov, Aliya Massalimova, Akhat Bakirov, Oleg Gabrielyan. Neural Networks and the Philosophy of Dialectical Positivism. MATEC Web Conf. 214 02002 (2018) DOI: 10.1051/matecconf/201821402002
20. Moldakhan, I., Shaltikova, D. B., Egemberdyeva, Z. M., & Suleimenov, I. E. (2020, October). Application of ternary logic for digital signal processing. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 946, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
21. Suleimenov, I., Bakirov, A., & Moldakhan, I. (2019, December). Formalization of Ternary Logic for Application to Digital Signal Processing. In Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport (pp. 26-35). Springer, Cham.