

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Статья посвящена исследованию вопросов методологии проведения виртуальных испытаний и оценки характеристик систем искусственного интеллекта (СИИ). Актуальность рассматриваемой тематики связана с отсутствием на сегодняшний день научно-методических подходов, определяющих единые требования к методам проведения испытаний СИИ. На примере решения задачи обнаружения и распознавания объектов автором обоснован выбор показателей и критерия пригодности СИИ, а также математического аппарата теории вероятностей с учетом специфики решаемой задачи.

Ключевые слова: искусственный интеллект; виртуальные испытания; технология; теория вероятностей; уровень доверия; показатель, критерий оценки.

Введение

Современная тенденция внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в различные сферы человеческой деятельности вызывает необходимость определения существенных (значимых) характеристик систем искусственного интеллекта (СИИ) и методов их оценки в ходе различных видов испытаний.

Рассматриваемая в работе [1] методология предполагает проведение испытаний интеллектуальных робототехнических средств в два этапа. На первом этапе проводятся виртуальные испытания, на втором – натурные (полигонные). При этом количество виртуальных испытаний должно быть таким, чтобы обеспечивался требуемый уровень доверия к итоговому результату, а количество натурных испытаний определяется, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов и минимального допустимого уровня доверия. Для расчета требуемого количества испытаний предлагается использовать методы теории вероятностей.

В данной статье предлагается рассмотреть несколько иной подход к применению вероятностных методов для проведения виртуальных испытаний. В соответствии с ГОСТ Р 57700.37¹ целью виртуальных испытаний будем считать определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) этого объекта.

Необходимо отметить, что качество внедрения технологии ИИ будет зависеть, прежде всего, от качества функционирования разработанных на ее основе программных средств (ПС). Контроль качества ПС осуществляется в виде процедур тестирования, верификации и валидации. В отношении СИИ контроль качества ПС предлагается проводить в ходе виртуальных испытаний в два этапа. На первом этапе проводится процедура тестирования, направленная на выявление программных дефектов (ошибок) и оценку показателей надежности ПС. Затем оцениваются функциональные характеристики СИИ. Процедуры оценки надежности и функциональных характеристик составляют основу процессов верификации и валидации СИИ.

Принимая во внимание, что некоторые методические подходы к оценке надежности ПС достаточно полно изложены в [2-4], более подробно рассмотрим вопросы оценивания функциональных характеристик СИИ на примере решения задачи обнаружения и распознавания объектов.

¹ ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения.

1. Обоснование и выбор методического аппарата оценки функциональных характеристик СИИ

В интересах решения указанной прикладной задачи необходимо обосновать и выбрать наиболее значимые (существенные) показатели и критерии пригодности СИИ². С учетом специфики выбранной задачи обоснованным будет выбор показателя в виде вероятности правильного распознавания объектов или обратной оценки – вероятности ошибки, а также классического математического аппарата теории вероятностей.

При рассмотрении предлагаемого подхода за основной показатель примем вероятность p ошибки распознавания объектов в каждом испытании СИИ. Оценка выбранного показателя осуществляется по результатам заданной совокупности успешных n прогонов испытываемой СИИ. Каждый прогон проводится на оригинальном наборе тестовых данных в виде различных изображений объектов интереса, не допуская их дублирования. В случае появления ошибки до достижения заданного количества успешных прогонов испытание прекращается и осуществляется оценка достигнутого уровня функциональности.

Вероятность p будем характеризовать двумя параметрами: значением p_0 верхней границы доверительного интервала (нижняя граница равна 0) и заданной доверительной вероятностью α , которая устанавливает вероятность нахождения истинного значения p в доверительном интервале $[0; p_0]$.

Пусть событие A состоит в том, что с вероятностью q в очередном прогоне ошибки не возникло. Очевидно, что q – вероятность события, обратная вероятности p , т.е. $q = 1 - p$. Тогда в соответствии с теоремой умножения вероятностей³ для n прогонов правмерно выражение [5; 6]:

$$\alpha(p \leq p_0) = 1 - q^n. \quad (1)$$

В этом случае вероятность P повторения события A во всех n независимых прогонах является величиной, обратной доверительной вероятности α , и будет определяться уравнением:

$$P(A) = 1 - (1 - q)^n. \quad (2)$$

Учитывая, что $P(A) = 1 - \alpha$ и $q = 1 - p$, выведем соотношение для случая $p = p_0$:

$$1 - \alpha = (1 - p_0)^n. \quad (3)$$

Применив к обеим частям выражения логарифмическое преобразование, получим:

$$n = \frac{\lg(1-\alpha)}{\lg(1-p_0)}. \quad (4)$$

Данная формула позволяет определить число успешных испытаний n , необходимых для того, чтобы убедиться в том, что верхняя граница вероятности p_0 получения ошибки не превышает заданное значение.

Практический интерес также вызывает определение верхней границы вероятности ошибки p_0 при заданных значениях доверительной вероятности α и успешных испытаний (прогонов) n особенно в случае, когда ошибка появляется раньше необходимого числа успешных испытаний. Для этого из выражения (3) найдем:

$$p_0 = 1 - \sqrt[n]{1 - \alpha}. \quad (5)$$

Таким образом, задаваясь значением доверительной вероятности и числом успешных испытаний (прогонов), получаем оценку верхней границы доверительного интервала вероятности появления ошибки, которая и будет являться критерием пригодности СИИ для решения прикладной задачи распознавания объектов.

Рассмотрим применение предложенного подхода на конкретных примерах.

² ГОСТ Р 59276-2020. Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения.

³ Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник. М.: Наука, 1969. – 576 с.

2. Оценка показателей функциональных характеристик СИИ по результатам виртуальных испытаний

Допустим, в тактико-техническом задании на разработку СИИ задано следующее требование: использование технологий ИИ должно обеспечить решение задачи по обнаружению и распознаванию объектов на маршруте движения (дорога, автомобиль, овраг и т.д.) в светлое время суток с вероятностью не менее 0,9.

На этапе разработки программ и методик государственных испытаний по согласованию с заказчиком определяется требуемый уровень доверия к результату каждого испытания. К примеру, заказчик предъявляет уровень доверия 99% или 0,99. Верхняя граница вероятности ошибки распознавания объектов в каждом испытании есть величина, обратная вероятности распознавания, а именно:

$$p_0 = 1 - 0,9 = 0,1.$$

Доверительная вероятность α того, что значение p будет находиться в доверительном интервале $[0; 0,1]$, в соответствии с требованием заказчика, будет равна $\alpha = 0,99$.

Имея все необходимые начальные данные, по формуле (4) определим:

$$n = \frac{\lg(1-0,99)}{\lg(1-0,1)} \approx 44.$$

Таким образом, для того, чтобы убедиться в том, что верхняя граница вероятности получения ошибки не превышает заданное значение $p_0 \leq 0,1$, необходимо провести подряд 44 успешных испытаний (прогона).

Если же получилось меньшее количество успешных испытаний, то по формуле (5) можно определить достигнутый уровень предельной ошибки распознавания. Допустим, в ходе виртуальных испытаний ошибка возникла на 28-м прогоне, в этом случае:

$$p_0 = 1 - \sqrt[28]{1 - 0,99} \approx 0,15.$$

Эта оценка необходима, прежде всего, для того, чтобы заказчик мог обоснованно и в количественной мере указать разработчику СИИ, насколько показатель функциональной характеристики не соответствует заданному требованию. В данном конкретном примере требование по вероятности распознавания $P(A) \geq 0,9$ занижено на 0,05 и равно:

$$P(A) = 1 - p_0 = 1 - 0,15 = 0,85.$$

В таблице 1 приведены расчетные значения количества успешных прогонов для различных уровней доверия и вероятности ошибки.

На основе полученных расчетных данных построены графики зависимости числа испытаний от уровня доверия при различных значениях вероятности ошибки (рисунок 1).

Таблица 1 – Расчетные значения количества успешных испытаний для различных уровней доверия и вероятности ошибки

№ п/п	Уровень доверия, α	Количество испытаний, n			
		$p_0 = 0,05$	$p_0 = 0,1$	$p_0 = 0,15$	$p_0 = 0,2$
1.	0,999	135	66	43	31
2.	0,99	90	44	28	21
3.	0,98	76	37	24	18
4.	0,97	68	34	22	16
5.	0,96	63	31	20	14
6.	0,95	58	28	18	13

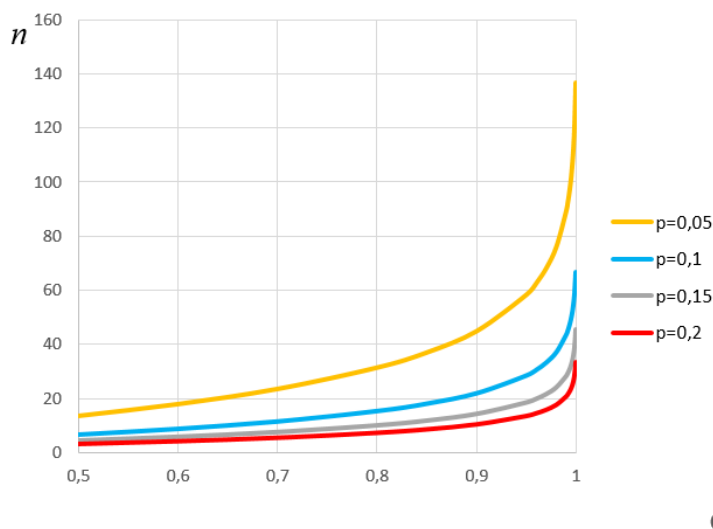


Рисунок 1 – График зависимости числа испытаний от уровня доверия при различных значениях вероятности ошибки

Анализ полученных результатов показал, что с ростом уровня доверия и по мере уменьшения вероятности ошибки количество испытаний увеличивается строго монотонно и нелинейно по закону, близкому к экспоненциальному. Необходимо отметить, что в каждом конкретном случае уровень доверия рекомендуется выбирать наибольшим с учетом вычислительной мощности испытательного стенда. Окончательное решение по приемке СИИ заказчиком принимается по результатам всех испытаний (виртуальных, полигонных, натуральных и т.д.) и по завершении всех процедур, связанных с процессами верификации и валидации.

Таким образом, после проведения испытаний имеются все необходимые данные, чтобы сделать вывод о степени соответствия СИИ предъявленным требованиям и реальным потребностям заказчика. Если заказчик пришел к выводу, что какие-то требования или характеристики не в полной мере отражают его ожидания, то компромисс с разработчиком может быть найден за счет корректировки требований и соответствующей доработки СИИ. Такой процесс достаточно трудно формализуем и требует всесторонней оценки рассматриваемого аспекта.

Заключение

В ходе исследований проведен анализ и обоснован выбор методического аппарата для оценки функциональных характеристик СИИ в ходе виртуальных испытаний, который представляет собой методы теории вероятностей. Порядок применения указанных методов рассмотрен на конкретных примерах.

Предложенный методический подход является экономичным в отношении затрат ресурсов на организацию и проведение виртуальных испытаний и позволяет делать четкие выводы о требуемом (4) либо достигнутом (5) уровне ошибки распознавания, а значит и об уровне доверия в целом к СИИ, а также может быть использован при разработке методик испытаний СИИ, технических средств и комплексов с различными уровнями автономности систем управления.

Список использованных источников

1. Горский А.С. Методический подход к оцениванию характеристик интеллектуальных робототехнических средств // Вооружение и экономика. 2023. №1(63). – С. 112-119.
2. Балыбердин В.А., Дружинин М.А., Степанов О.А., Шумило Д.А. Методические вопросы тестирования надежности программных средств автоматизированной системы управления войсками и оружием: монография / Под общ. ред. В.А. Балыбердина. М.: 3 ЦНИИ Минобороны России, 2021. – 101 с.
3. Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Метод оценки показателя надежности программного обеспечения автоматизированной системы подготовки данных управления летательными аппаратами // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №6(78). – С. 7.
4. Зинченко В.В., Ахмад Е.С., Заюнчковский С.Ю., Шарова Д.Е., Владзимирский А.В., Морозов С.П. Методология проведения клинических испытаний медицинского программного обеспечения с искусственным интеллектом // Медицинская физика. 2022. №1(93). – С. 32.
5. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. М.: Статистика, 1974. – 300 с.
6. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 4-е изд. Т.2: Знания и рассуждения в условиях неопределенности. СПб.: Диалектика-Вильямс, 2021. – 480 с.