

Оценка производительности работы операторов в интеллектуальных системах при решении тестовых задач в условиях неопределенности

И. А. Писарев¹, Е. Е. Котова², Н. В. Сташ, А. С. Писарев³
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
Санкт-Петербург, Россия
¹pisarevivan@yandex.ru, ²ekotova@gmail.com, ³a_pisarev@mail.ru

Аннотация. Представлен когнитивный подход к оценке производительности работы операторов в условиях неопределенности для повышения эффективности человеко-машинных интерфейсов интеллектуальных систем. Разработана модель решения последовательности задач оператором в виде модификации случайных процессов Орнштейна-Уленбека и Васичека. Разработаны алгоритмы идентификации параметров моделей по экспериментальным данным. Экспериментальные данные получены в результате тестирования моделей когнитивно-стилевого потенциала (КСП) операторов с применением разработанных компьютерных вариантов перцептивных и когнитивных задач. Полученные когнитивные модели были применены для предсказания эффективности решения операторами комплекса задач на основе методов машинного обучения. Наиболее точное предсказание получено методом RandomForest со значением критерия точности 93.75% (отношение числа операторов, правильно предсказанных по принадлежности к классу, к их общему числу). Полученные результаты подтверждают, что перцептивные и когнитивные факторы существенно влияют на оценку эффективности работы операторов при решении тестовых задач. Результаты работы применены при исследовании эффективности работы операторов при решении задач в системе гидроакустического мониторинга.

Ключевые слова: *человеко-машинный интерфейс; процесс Орнштейна–Уленбека; гидроакустический мониторинг; автоматизированное машинное обучение; тренажер*

I. ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированная система оценки производительности работы операторов характеризуется тем, что она содержит модуль диагностирования на основе автоматизированных диагностических методик, блок тестового диалога, модуль оптимизации методов анализа и обработки результатов, базу данных с результатами тестирования, базу критериев оценки и построения когнитивной модели профессионально важных качеств пользователей/операторов.

Эффективность автоматизированной системы человек-машина (Human Machine System, HMS) оценивается показателем степени достижения поставленной цели,

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект №17-71-20077

временными, точностными и прочими показателями решения задач в процессе выполнения миссии. Обобщенный перечень комплекса задач, решаемых операторами подводного необитаемого аппарата (ПНА, Underwater Unhabited Vehicle, UUV), включает в себя: подготовку к миссии; начало миссии; поиск объекта; обнаружение объекта; движение к целевой точке и избегание препятствий; выполнение действий; возвращение на пирс; швартовку; завершение миссии [1].

При решении задач оператор пользуется результатами восприятия, обработки и анализа поступающей информации. На основе поступающей информации оператор принимает решения о планировании и выполнении управляющих действий, включая команды управления двигателями (вертикальными и горизонтальными), бортовыми камерами и т. д.

На успешность достижения цели миссии влияют несколько групп факторов, в том числе:

- перцептивные и когнитивные параметры оператора;
- навыки работы оператора для решения типовых задач при выполнении миссии.

В статье представлен метод оценки эффективности решения операторами серии тестовых задач на основе модели когнитивного потенциала и развития навыков операторов ПНА на основе разработанного тренажера в веб-среде.

II. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАЧ

Эффективность обнаружения объектов и принятия решений операторами предлагается оценивать на основе методик, которые являются разновидностью перцептивных и когнитивных тестов.

Разработаны компьютерные варианты перцептивных и когнитивных тестов операторов, в том числе:

– модифицированный компьютерный вариант теста MFFT–12 (Matching Familiar Figures Test) – «Выбор парной

фигуры», автор Дж. Каган (Kagan J., 1966) [2], на основе которого диагностируется параметр «импульсивность – рефлексивность» (И-Р), характеризующий время отбора информации и оценивания гипотез для принятия решений, точность перцептивного сканирования;

– модифицированный компьютерный вариант методики «Скрытые фигуры» Л. Терстоуна (Thurstone L.L., 1944) [3], на основе которого диагностируется параметр когнитивного стиля – «полнезависимость-полезависимость» (ПЗ-ПНЗ), характеризующий способность выделения наиболее значимых черт и элементов в каком-либо объекте;

– модифицированный компьютерный вариант теста Струпа (J. Ridley Stroop, 1935) «Словесно-цифровая интерференция» [4], с помощью которого измеряется величина интерференции, параметр, характеризующий когнитивный контроль. Выявление параметров когнитивного контроля особенно важно при наличии ситуаций когнитивного конфликта, который проявляется в условиях одновременного представления информации различной модальности (визуальной, вербальной, аудиальной, кинестетической). Ряд показателей когнитивного контроля пересчитываются в компьютерной версии методик:

- показатель жесткости (ригидности) познавательного контроля;
- показатель «образности/вербальности», при котором определяется предпочтительный способ восприятия информации;
- показатели, характеризующие стабильность работы с насыщенными массивами информации.

Данные показатели являются доминирующими факторами модели оператора. Значения факторов определяются в процедуре идентификации параметров динамической модели оператора.

Ранее авторами статьи была разработана компьютерная реализация модифицированной версии методики Струп-М [4, 5] в среде Matlab (MathSoft), которая позволила фиксировать и получать данные диагностирования в виде процессов: кумулятивного времени выполнения заданий $T[n]$, времени выполнения одного задания $d[n]$ и скорости выполнения $v[n]=1/d[n]$. Время выполнения заданий фиксировалось с помощью встроенного модуля таймера с точностью до 0.01 с. Версия Matlab программы необходима для тестирования и отладки при дальнейшей реализации программного инструмента в веб-среде и рассматривается как версия исследовательского прототипа. Для количественной оценки процессов диагностирования предложено использовать два показателя: 1 показатель – длительность переходного процесса, т. е. число заданий $N_{пер}$, по истечении которого устанавливается время выполнения задания; и 2 показатель – установившаяся скорость $V_{уст}$ выполнения заданий.

В работе [5] была принята гипотеза о структуре модели: приращение скорости ΔV_n пропорционально

достигнутой скорости V_n и сложности задания U_n в виде линейного разностного уравнения первого порядка

$$\Delta v_n \equiv v_{n+1} - v_n = av_n + bu_n, \quad (1)$$

где a и b (1) – подлежащие оцениванию в результате обработки данных коэффициенты.

Оценивание параметров модели в работе [5] осуществлялось с помощью инструмента Parameter Estimation Tool программы Simulink [6]. Результаты, получаемые методом наименьших квадратов для модели (1) весьма чувствительны к помехам. Поэтому, для учета случайных помех был разработан вариант модели (1) и метод параметрической диагностики на основе стохастического дифференциального уравнения [7].

Модель представляет собой модификацию случайных процессов Орнштейна-Уленбека или Васичека:

$$dy_t = a(b - y_t)dt + cdW_t \quad (2)$$

Уравнение (2) имеет аналитическое решение, содержащее интеграл Ито:

$$y(t) = y(0)e^{-at} + b(1 - e^{-at}) + ce^{-at} \int_0^t e^{as} dW_s$$

Параметры модели (2) могут быть найдены из совместного решения системы уравнений для средних значений выборки и дисперсий:

$$E(y_t) = b(1 - e^{-at}) + y_0 e^{-at} \quad (3)$$

$$Var(y_t) = \frac{c^2}{2a} (1 - e^{-2at}) \quad (4)$$

Параметрическая идентификация модели (2) в виде стохастического дифференциального уравнения осуществлялась с применением программы ОнтоМАСТЕР-Управление. Для этого диагностические данные, полученные по модифицированной методике Струп-М, подвергались усреднению с получением зависимостей от времени для средних значений выборки и дисперсий (3) и (4) соответственно.

Первый этап исследования включал тестирование модели когнитивно-стилевого потенциала (КСП) оператора по перечисленным выше методикам (в тестировании приняло участие 200 человек). Полученные результаты обработки диагностических данных составляют базу признаков (КСП) операторов. База признаков включает наборы из 45 характеристик, структурированных иерархически. На первом уровне иерархии модели факторы, характеризующие показатели когнитивного контроля, на втором уровне показатели когнитивных стилей, уточняющие индивидуальные характеристики операторов.

Второй этап исследования заключался в определении признаков внутренней дифференциации операторов на

условные группы по успешности решения комплекса задач, имитирующих обработку разнородных данных.

Лучший результат дифференциации операторов по факторам модели КСП получен при использовании 2-х классов по уровню риска успешного решения комплекса из 12 задач. Для предсказания эффективности решения операторами комплекса задач были применены более 10 методов машинного обучения. Наиболее точное предсказание получено методом RandomForest со значением критерия точности: 93.75% (отношение числа операторов, правильно предсказанных по принадлежности к классу, к их общему числу). Таким образом, полученные результаты подтверждают, что когнитивные факторы существенно влияют на оценку эффективности работы операторов при решении тестовых задач.

III. РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ ОПЕРАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ТРЕНАЖЕРА

Подготовка операторов в модельной среде перед выполнением требуемых действий в реальных условиях осуществляется с применением компьютерных тренажеров (simulator) [8].

Наличие навыков у оператора могут существенно повлиять на производительность дистанционного управления подводными обитаемыми аппаратами (ПНА). Следовательно, целесообразно обеспечить достаточную подготовку для повышения эффективности дистанционного управления с помощью тренажеров (Remotely Operated Vehicles, ROV) [9].

Операторы управляют ПНА, посылая сигналы по проводам, чтобы активировать двигатели, которые вращают гребные винты. Для удаленного управления гибридными дронами, приспособленными к водной и воздушной среде, также применяется радиосвязь [10].

Разработан тренажер оператора с web-интерфейсом, который позволяет решать задачи с помощью моделей ПНА и объектов, являющихся целями выполнения различных миссий: выбирать целевые объекты и реализации их траекторий в соответствии с моделями движения; настраивать параметры моделей ПНА; визуализировать в трехмерной модели среду и траектории объектов и ПНА; собирать данные о действиях оператора с возможностью повторного воспроизведения и анализа; собирать и обрабатывать статистику о результатах многократного выполнения миссии.

В процессе подготовки к работе на тренажере перед оператором ставится главная цель моделируемой миссии и предоставляется необходимая информация для решения типовых задач.

План работы на тренажере включает многократное выполнение заданий, которые могут отличаться объектами, моделями траекторий, конфигурацией препятствий на пути движения.

В связи с разнообразием ситуаций, складывающихся при выполнении миссии, одной из часто решаемых задач является тренировка по преодолению препятствий на пути

движения ПНА [11, 12]. В тренажере предусмотрена возможность выбора моделируемых сцен с различными препятствиями на пути движения ПНА.

Сбор данных о действиях оператора в каждой сессии работы в тренажере включает время и результативность решения как частных задач по обходу препятствий, так и время и точность достижения целевого положения.

Наряду с решением задач достижения статического целевого положения в пространстве применяются задачи, в которых оператор должен приблизиться к целевому объекту, движущемуся в соответствии с динамическими детерминированными и стохастическими моделями. Одной из особенностей тренажера является использование моделей сети сенсоров гидроакустического мониторинга, учитывающих нестационарность реальных данных измерений, получаемых, например при помощи метода триангуляции, а также алгоритмов обработки измерений (фильтрации Калмана, предсказания траекторий по нестационарным данным) [13].

На рис.1 представлен пример сессии работы оператора по решению задач обхода препятствий, управлению движением ПНА к целевому объекту. Режим визуализации позволяет наблюдать как текущие состояния целевого объекта, так и траекторию, представленную в виде нестационарного временного ряда. Окружностями отмечены координаты объекта, измеренные по данным нескольких сонаров.

Погрешности в представлении данных измерений могут служить причиной невыполнения миссии. Поэтому в тренажере предусмотрен режим оценки точности решения задач оператором при различных погрешностях измерений. Тренажер является также инструментом для исследования различных алгоритмов имитации, обработки и представления данных [14]. Разработаны алгоритмы имитации сложных комплексов пространственно-временных данных на основе детерминированных и стохастических моделей.

Экспериментальные исследования показали, что применение разработанного метода предсказания траектории объекта по нестационарным данным позволяет снизить относительную ошибку реконструкции параметров нелинейной модели до 0.05 %.

Алгоритмы статистического анализа результатов многократного выполнения миссии позволяют получать оценки эффективности (времени реакции, числа допускаемых ошибок, правильности принимаемых решений) работы операторов с человеко-машинными интерфейсами при решении тестовых задач.

На рисунке представлен фрагмент web-интерфейса тренажера операторов дистанционного управления подводным обитаемым аппаратом. Кроме традиционного управления при помощи джойстика, в нижней части экрана предусмотрены кнопки управления, доступные при использовании компьютерной мыши и клавиатуры. Показаны две траектории: объекта, изображенного в виде сферы, и ПНА, успешно выполнившего задачи обхода препятствий, но не

обеспечившего решение целевой задачи приближения к объекту в заданное время.

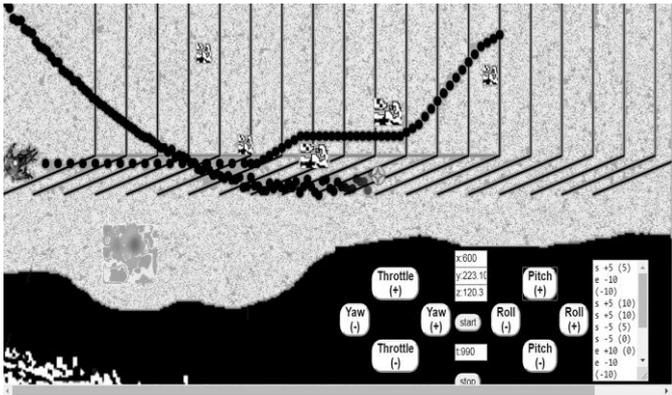


Рис. 1. Фрагмент интерфейса тренажера оператора ПНА

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе когнитивного подхода получены результаты, подтверждающие влияние когнитивных параметров модели КСП оператора на производительность работы оператора человеко-машинных интерфейсов.

Разработана модель решения оператором серии перцептивных и когнитивных задач в виде стохастического дифференциального уравнения, которое представляет собой модификацию случайных процессов Орнштейна–Уленбека и Васичека. Параметры моделей были идентифицированы по экспериментальным данным, полученным в ходе тестирования более 200 операторов ЧМС. Параметры моделей КСП были использованы для предсказания эффективности решения операторами комплекса задач. Для предсказания эффективности решения операторами комплекса задач были применены более 10 методов машинного обучения.

При использовании 2-х классов успешности решения комплекса тестовых задач наиболее точное предсказание получено методом RandomForest со значением критерия точности 93.75% (отношение числа операторов, правильно предсказанных по принадлежности к классу, к их общему числу). Полученные результаты подтверждают, что когнитивные факторы существенно влияют на оценку эффективности работы операторов.

Предложенный подход применения тренажера с учетом влияния перцептивных и когнитивных факторов при решении типовых задач дистанционного управления является перспективным при обучении навыкам работы операторов: управления моделями ПНА при выполнении различных миссий, в том числе приближения к динамическим объектам с различными моделями траекторий.

Имитатор траекторий в тренажере предназначен для обучения операторов навыкам дистанционного управления в условиях различных реализаций типовых моделей движения целевых объектов. Эффективность действий оператора оценивается методами описательной статистики. Оценивается, в частности, результат выполнения миссии, который определяется как число успешных миссий к их общему числу; время успешного выполнения миссии; прочие показатели (количество затраченной энергии двигателями и др.).

Регистрация и анализ ошибок и времени оператора на решение комплекса задач позволяет определить наиболее трудные из них, требующие дополнительных тренировок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Мартынова Л.А., Машошин А.И. Построение системы управления автономных необитаемых подводных аппаратов на базе мультиагентной технологии // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. №2. С.38-48.
- [2] Kagan J. Reflection-impulsivity: The generality and dynamics of conceptual tempo // Journal of abnormal psychology. 1966. V. 71. №. 1. Pp. 17–24.
- [3] Thurstone L.L. A factorial study of perception. Chicago: University of Chicago Press. 1944. 148 p.
- [4] Stroop J.R. Studies of interference in serial verbal reactions // J. of Exper. Psychology. 1935. V. 18. Pp. 643–662.
- [5] Имаев Д.Х., Котова Е.Е. Дифференциация учащихся по показателям экспресс-диагностирования. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Современные технологии образования. 2014. № 10. С. 71-77.
- [6] MATLAB. URL: <http://www.mathworks.com/products/matlab>
- [7] Iacus S.M. Simulation and inference for stochastic differential equations: with R examples. Springer Science & Business Media, 2009. 300 p.
- [8] Кулаков Ф.М. Методы супервизорного телеуправления космическими роботами. // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2018. № 5. С. 161-181.
- [9] Christ R.D., Wernli R.L. The ROV Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles. Elsevier Science, 2014. 679 p.
- [10] Maia M.M., Soni P., Diez F.J. Demonstration of an aerial and submersible vehicle capable of flight and underwater navigation with seamless air-water transition // arXiv preprint arXiv:1507.01932. – 2015.
- [11] Zhang W, Wei S, Teng Y, Zhang J, Wang X, Yan Z. Dynamic obstacle avoidance for unmanned underwater vehicles based on an improved velocity obstacle method. Sensors. Vol. 17 no.12. 2017. Pp. 2742.
- [12] Zakeri E., Farahat S., Moezi S. A., Zare A. Path planning for unmanned underwater vehicle in 3d space with obstacles using spline-imperialist competitive algorithm and optimal interval type-2 fuzzy logic controller. Latin American Journal of Solids and Structures 13.6. 2016. Pp. 1054-1085.
- [13] Pisarev I.A., Kotova E.E., Pisarev A.S., & Stash N.V. Assessment of the Efficiency of Operators Work in Solving Test Problems in the Structure of Intelligent Interfaces // 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). IEEE, 2020. Pp. 810-813.
- [14] Fossen Thor I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. John Wiley & Sons, Ltd., 2011. 575 p.