УДК 656.61.052

ФОРМАЛЬНІ ПІДХОДИ ЩОДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ КРИТИЧНИХ СИТУАЦІЙ В ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

[1]Носов П.С., [1]Бень А.П., [1]Зінченко С.М., [2]Попович І.С. [1]Храмцовський В.О., [1]Гуров А.А
[1]Херсонська державна морська академія,
[2]Херсонський державний університет

Вступ. Сучасні засоби аналізу експериментальних даних фізичних процесів що впливають на траєкторію руху судна стикаються з необхідністю включення факторів невизначеності з вини людини-навігатора [1-3]. Дана обставина безпосередньо впливає на точність прогнозування шляху судна і як наслідок не дозволяє визначити причини відхилення траєкторій від оптимальних, розрахованих бортовими інформаційними та інтелектуальними системами (Рис. 1) [4,5]. У свою чергу розрахунок повного спектру фізичних параметрів не дозволяє бортовому комп'ютеру використовувати автопілот через особливості локації припортових акваторій і міжнародного законодавства.

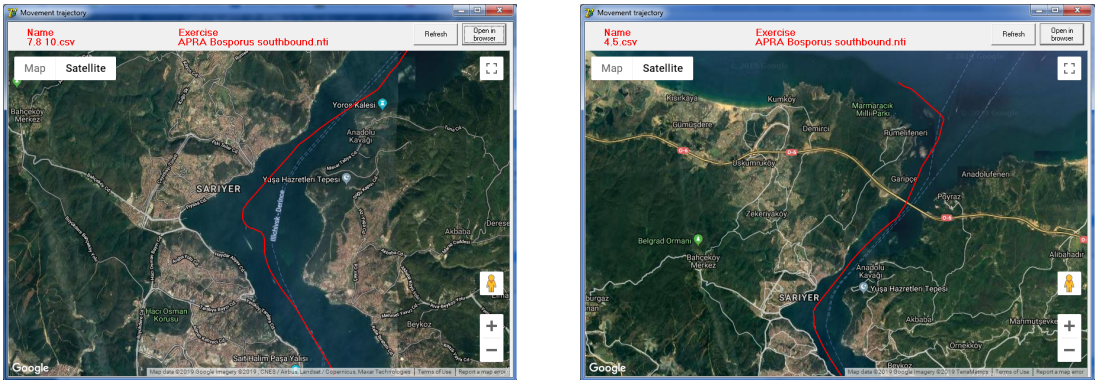

Рис. 1. Відхилення від оптимальної траєкторії зважаючи на вплив невизначених факторів

Як видно з первинного аналізу траєкторія маневру справа на малюнку 1 істотно відрізняються від оптимальної без видимих причин. Аналіз дозволив виділити одну з ключових причин такої поведінки навігатора, це обумовлюється в сприйнятті ситуації щодо тимчасового діапазону виконання операції.

Параметр сприйняття часу навігатором є фактор невизначеності $a \in A$ в ситуації $s \in S$, при цьому, ідентифікатор ситуації може бути представлений у виді $\pi(s) = \varphi(s, A) = \bigcup_{a \in A} \varphi(s, a)$ [6-9], а оптимальність враховує фактори невизначеності в наступному виді:

$$\tilde{\mathrm{Max}}(S, \varepsilon) = \left\{ s \in S \mid \pi(s) \subset \mathrm{Max}\left(\pi(s), \varepsilon\right) \right\} = \left\{ s \in S \forall x \in \pi(s), f(x) \right\} \geq \sup\left\{ f(y) \mid y \in \pi(S) \right\} - \varepsilon =$$

$$= \left\{ s \in S \mid \inf\left\{ f(x) \mid x \in \pi(s) \right\} + \varepsilon \geq \sup\left\{ f(y) \mid y \in \pi(S) \right\} \right\}.$$

Де: a - множина факторів невизначеності у вигляді метаданих що належать A;

S - множина стратегій навігатора;

s - стратегія що визначає поточну ситуацію;

$\pi(s)$ - ситуація що відповідає стратегії;

φ - відображення що визначає ситуацію на парі (s, a);

ε - множина оптимальних ситуацій при деякій допустимій підмножині ситуацій X такий що $R(X, \varepsilon) \subset X$;

f - векторний критерій ефективності;

x, y - елемент допустимої підмножини ситуацій X із домінуванням « $\succ$ ».

Дані дослідження і позначені залежності дозволяють визначити ступінь впливу на ситуацію інформаційних сигналів з боку фізичного середовища використовуючи дані навігаційних сенсорів і приладів, однак запропоновані моделі розглядають час лише як дискретну складову що не дозволяє визначити фактори його сприйняття [10,11].

Інші моделі представляють ситуацію як описову і ґрунтуються на емпіричних експериментах які підтверджують гіпотезу про зміни у сприйнятті часу навігатора в критичних ситуаціях, але не дають понять про залежності сприйняття часу при виконанні завдань в формальному виді. Очевидно лише те, що суб'єктивний відлік часу істотно відрізняється від показань приладів і безпосередньо впливає на поведінку навігатора, що неминуче призводить до невизначеності прийняття рішень та впливає на фізичну траєкторію руху судна.

Також слід врахувати, що фактор часу повинен бути представлений як різниця між реальним сприйняттям по *i*-му параметру навігаційної системи і спотвореному. Все це призводить до суперечностей між необхідністю в точній ідентифікації спотворення або «дисторсії часу навігатора» (ДЧН) при виконанні маневрів і можливостям сучасних електронних та автоматизованих навігаційних систем.

Таким чином актуальність даного дослідження полягає в необхідності визначення формальних моделей управління судном з боку навігатора з урахуванням ДЧН на основі експериментальних навігаційних даних.

Методи дослідження. Розглянемо траєкторію прийняття рішень навігаторів у виді Марківських однорідного ланцюгів в термінах теорії цифрових автоматів [12]:

$$\sum_{j=1}^{n} p_{ij} = \sum_{j=1}^{n} p_v \zeta_{ij}^1 + \sum_{j=1}^{n} q_v \zeta_{ij}^0 = p_v + q_v = 1,$$

Де: p_{ij} - ймовірність переходу зі стану a_i у стан a_j;

p_v - ймовірність прояву ДЧН, при $q_v = 1 - p_v$;

n - межа можливих типових станів;

ζ_{ij}^0, ζ_{ij}^1 - стохастичні матриці, де індекси 1 – штраф, а 0 – не штраф;

Тоді математичне очікування виникнення ДЧН на траєкторії буде: $M(A,C) = \sum_{j=1}^{n} Q_j p_{vj}$.

Де: M - математичне очікування;

Q_j - фінальна ймовірність стану a_i;

A - кінцевий автомат;

C - середа.

Однак слід врахувати, що виникає складність опису виникнення ДЧН у вигляді матриці перехідних станів. Причина цього у тому, що саме прояв ДЧН лише на перший погляд є випадковим процесом. В даний час відомо, що дане явище залежить від кількості інформаційних факторів що сприймаються одночасно навігатором, особливо якщо це відбувається у критичних або позаштатних ситуаціях [13-15].

У той же час аналіз процесів прийняття рішень навігаторами може бути описаний математичним апаратом нечітких систем. Так в роботі [16] вводиться визначення взаємно мінізв'язаних величин $\xi_1,...,\xi_n$ таких що:

$$\mu_{\xi_1,...,\xi_n}(x_1,...,x_n) = \varsigma\{\gamma \in \Gamma : \xi_1(\gamma) = x_1,...,\xi_n(\gamma) = x_n\} = \varsigma\{\xi_1^{-1}(x_1) \cap ... \cap \xi_n^{-1}(x_n)\}, \forall (x_1,...,x_n) \in R^n,$$

Де: $x_1,...,x_n$ - спостережувані значення вибірки;

ς – міра можливості;

Г – множина елементів системи;

γ – атомарний елемент системи;

R – модальне значення можливості величини;

$\xi_1,...,\xi_n$ - нечіткі величини;

При цьому для нормування $\xi_1,...,\xi_n$ вводиться критерій α, як рівень ризику помилкових розподілів оцінки. Також форма розподілу можливих полярних величин H в умовах коефіцієнта нечіткості b' щодо досліджуваного параметра ρ' (ДЧН) описана залежностями:

$$b' = \frac{\max\limits_{1\le i\le n} x_i - \min\limits_{1\le i\le n} x_i}{H_+^{-1}(\alpha) - H_-^{-1}(\alpha)},\quad \rho' = \frac{1}{2}\left(\max_{1\le i\le n} x_i - \min_{1\le i\le n} x_i\right) + \frac{b'}{2}\left(H_+^{-1}(\alpha) - H_-^{-1}(\alpha)\right)$$

Де: b' - коефіцієнт нечіткості;

ρ' - досліджуваний параметр ДЧН;

α' - критерій нормування $\xi_1,...,\xi_n$;

H - розподіл можливих полярних величин;

З даних формальних описів видно, що розподіл величин носить в цілому характер «нормального» у вигляді еліпсоїда і в рамках виконання завдання $\xi_\alpha^+ - \xi_\alpha^- \to \min$; $\mu_{\xi_1,...,\xi_n}(x_1,...,x_n,p',b') = \alpha$. Однак даний підхід важко застосувати в розглянутій задачі з огляду на те, що фактор ДЧН слабо підпорядковується поняттю нормального розподілу і залежить від неоднорідного спектра параметрів.

Для більш точного визначення природи даного чинника невизначеності були вивчені експериментальні дані навігаційних приладів і сенсорів під час маневрування в протоці Босфор з використанням сертифікованого навігаційного тренажера Navi Trainer 5000 в Херсонській державній морській академії. Особливість локації представляє складність лише через те, що маневрування відбувається із множинними керованими цілями [17-20]. У зв'язку з зазначеними обставинами були прийняті умови даної локації і близькими природними факторами, часом доби (сезону) і розташуванням порту (Рис. 2).

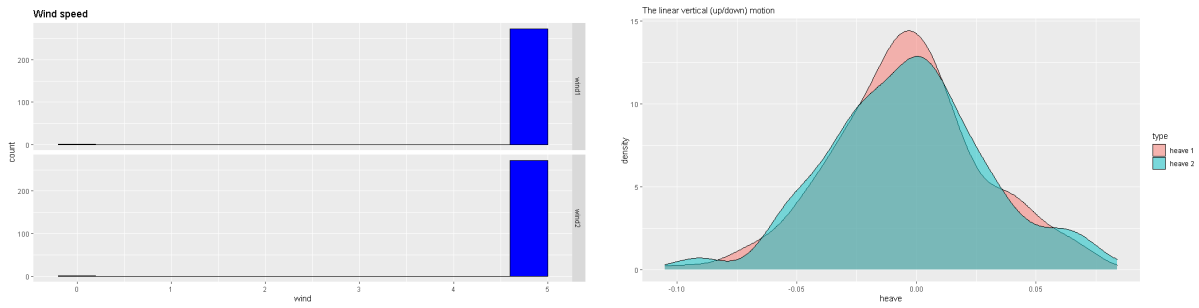

Рис. 2 Співвідношення природних факторів вітру «wind 1,2» і хвилювання «heave 1,2»

Не дивлячись на близькі початкові умови і високу кваліфікацію навігаторів, графіки поздовжнього переміщення судна «surge» істотно відрізняються, також було відзначено, що навігатор вибрав маневр нетиповий для даної локації (Рис. 3).

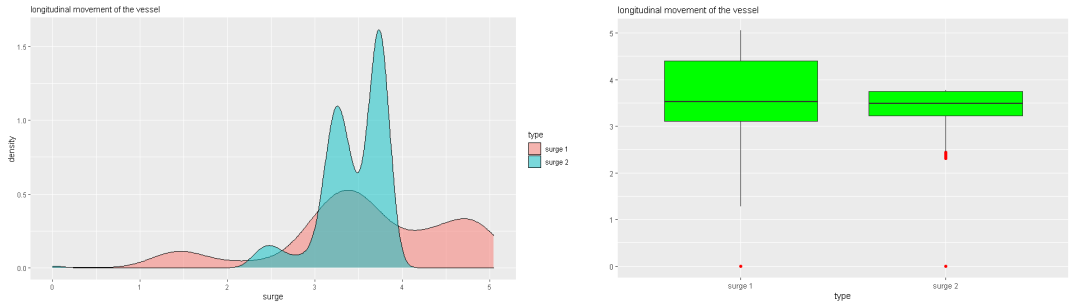

Рис. 3. Графіки щільності розподілу і медіани поздовжнього переміщення судна «surge». Surge 1 при використанні автопілота і Surge 2 при ручному управлінні судном

Висновок. У даній ситуації аварії вдалося уникнути, проте навігатор не вважав за що його дії були помилковими. Виникає прецедент пов'язаний з очікуваннями особистості навігатора в критичних ситуаціях що на пряму впливають на його поведінку при управлінні судном [21-24]. Виходячи з розглянутої ситуації слід зробити висновок про необхідність врахування людського фактора судноводія, що дозволить уникнути ймовірність виникнення критичних ситуацій у майбутньому.

Література:

1. Hancock, P., Weaver, J. (2005). On time distortions under stress. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 6, 2, 193–211. DOI:10.1080/14639220512331325747.
2. Nosov, P.S., Popovych, I.S., Cherniavskyi, V.V., Zinchenko, S.M., Prokopchuk, Y.A., Makarchuk, D.V. (2020). Automated identification of an operator anticipation on marine transport. Radio Electronics, Computer Science, Control, 3, 158–172.
3. Nosov P. S., Palamarchuk I.V., Safonov M.S., Novikov V.I. Modeling the manifestation of the human factor of the maritime crew // Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) № 5 (77). – 2018. Pages 82-92. doi:10.15802/stp2018/ 147937.
4. Nosov, P., Zinchenko, S., Popovych, I., Safonov, M., Palamarchuk, I., Blakh, V.: Decision support during the vessel control at the time of negative manifestation of human factor. CEUR Workshop Proceedings, 2608, 12-26 (2020).
5. Scheele, F., Haftor, D. & Pashkevich, N. (2019). Cognitive time distortion as a hidden condition of worker productivity. Journal of Business Research, 591–596. DOI:10.1016/j.jbusres.2018.11.002.
6. Ogden, R., Henderson, J., Mcglone, F. & Richter, M. (2019). Time distortion under threat: Sympathetic arousal predicts time distortion only in the context of negative, highly arousing stimuli. *PLOS ONE, 14*. DOI:10.1371/journal.pone.0216704.
7. El-Azhari, A., Haddar, S., Drago, R. & Gil, S. (2020). Similar time distortions under the effect of emotion for durations of several minutes and a few seconds. *Acta Psychologica,* 210. DOI:10.1016/j.actpsy.2020.103170.
8. Shevchenko, R., Popovych, I., Spytska, L., Nosov, P., Zinchenko, S., Mateichuk, V. & Blynova, O. (2020). Comparative analysis of emotional personality traits of the students of maritime science majors caused by long-term staying at sea. Revista Inclusiones, Vol: 7 num Especial, 538-554.
9. Ono, F., Horii, S., Watanabe, K. (2012). Individual differences in vulnerability to subjective time distortion. Japanese Psychological Research, 54. DOI:10.1111/j.1468-5884.2011.00497.x.
10. Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Serhii Zinchenko, Vasyl Cherniavskyi, Viktor Plokhikh, Halyna Nosova (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's graph. Revista Inclusiones, Vol: 7 num Especial, pp. 90-103.

11. Nosov, P., Ben, A., Zinchenko, S., Popovych, I., Mateichuk, V., Nosova, H.: Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. CEUR Workshop Proceedings, 2732, 823-838 (2020).
12. Сорокина И.В. Оценка параметров многомерных возможностных распределений при заданном уровне риска / И.В. Сорокина, С.В. Сорокин // Нечеткие системы и мягкие вычисления. – 2015. – 10. – 2. – P. 181-193.
13. Shevchenko, R., Cherniavskyi, V., Zinchenko, S., Palchynska, M., Bondarevich, S., Nosov, P., Popovych, I. (2020). Research of psychophysiological characteristics of response to stress situations by future sailors. Revista Inclusiones, Vol: 7 num Especial. pp. 566-579.
14. Solovey, O., Ben, A., Dudchenko, S., Nosov, P. (2020). Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 5/2 (107), 48–56. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856
15. Nosov P., Cherniavskyi V., Zinchenko S., Popovych I., Prokopchuk Y., Safonov M. Identification of distortion of the navigator's time in model experiment // Bulletin of University of Karaganda. Instrument and experimental techniques, 2020. - № 4(100). P. 57-70. DOI: 10.31489/2020Ph4/57-70
16. Hong, D.H. (2001). Parameter estimation of mutually T-related fuzzy variables. Fuzzy Sets and System, 123. 63–71.
17. Popovych, I. S., Cherniavskyi, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective “The Ship’s Captain and the Pilot” Interaction Formation by Means of Training Technologies. Revista ESPACIOS, Vol. 41(№11). Page 30. Retrieved from: https://www.revistaespacios.com/ a20v41n11/ 20411130.html
18. Zinchenko S. M., Ben A. P., Nosov P. S., Popovich I. S., Mamenko P. P., Mateichuk V. M. Improving the Accuracy and Reliability of Automatic Vessel Moution Control System // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 2. – P183-195. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-19
19. Zinchenko S., Ben A., Nosov P., Popovych I., Mateichuk V., Hrosheva O. The vessel movement optimisation with excessive control // Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics, 2020. - № 3(99). P. 86-96. DOI: 10.31489/2020Ph3/86-96
20. Zinchenko S.M., Mateichuk V.M., Nosov P.S., Popovych I.S., Appazov E.S. Improving the accuracy of automatic control with mathematical meter model in on-board controller // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 4. – P. 197-207. DOI 10.15588/1607-3274-2020-4-19
21. Serhii Zinchenko, Oleh Tovstokoryi, Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Vitaliy Kobets, Gennadii Abramov. Mathematical support of the vessel information and risk control systems P. 335-354. // CEUR Workshop Proceedings, 2805. http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf
22. Nosov P.S., Cherniavskyi V.V., Zinchenko S.M., Popovych I.S., Nahrybelnyi Ya.A., Nosova H.V. Identification of marine emergency response of electronic navigation operator // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2021. - № 1. – P. 208-223. DOI:10.15588/1607-3274-2021-1-20
23. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Mateichuk V.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O. Use of navigation simulator for development and testing ship control systems. МНПК пам’яті професорів Фоміна Ю. Я. і Семенова В. С. (FS - 2019), 24 – 28 квітня 2019, Одеса – Стамбул – Одеса. Pages 350-355.
24. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Popovych I.S., Ben A.P., Nahrybelnyi Y.A., Mateichuk V.M. Diagnostic system of perception of navigation danger when implementation complicated maneuvers // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020. - № 1. – P146-161. DOI: https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-15.