

Трофименко І.В.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Пліта Л.Л.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Іваненко В.М.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Федунов В.М.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

ПІДХІД ЩОДО ФОРМАЛІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ У МОДЕЛІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА СУДНІ

Метою статті є підходів щодо формалізації розподілених об'єктів управління у моделі забезпечення навігаційної безпеки на судні. Поставлена мета досягається шляхом аналізу джерел інформації, що стосуються вирішення завдання формалізації об'єктів управління при забезпеченні навігаційної безпеки на судні, а також безпосередньо процесів, які пов'язані із забезпеченням навігаційної безпеки судноплавства. Встановлено, що перспективним напрямком забезпечення навігаційної безпеки на судні, є розробка і впровадження систем підтримки прийняття рішень безпеки судноводіння. Доведено, що розподілені об'єкти управління характеризуються тісною взаємодією з чітко визначеною структурою і динамікою функціонування. Модель розподілених об'єктів управління представлена сукупністю взаємопов'язаних класів та об'єктів, що належать цим класам. Для актуалізації складу та структури системи або стану окремих об'єктів використовується відношення актуалізації, яке здійснює породження об'єктів класів на основі даних, а також актуалізацію стану об'єктів. У статті при розгляді моделі системи управління судном відношення актуалізації реалізовано функціями логіки судноводія, а в якості даних використовують дані, занесені в систему. У разі відносно постійної структури об'єкта управління відношення актуалізації представляються двома складовими – відношенням актуалізації структури (об'єктів і зв'язків між ними) об'єкта управління і відношенням актуалізації параметрів моделей елементів розподіленої системи. Запропоновано фіксувати структуру і параметри розподілених об'єктів управління, наведеною моделлю в системі управління судном вважати поточний стан бази даних, а наведеною моделлю модуля контролю – xtl-опис топології корпоративної мережі. Найбільш суттєвим результатом дослідження є опис функціонування інформаційної моделі об'єкта управління, де на основі поточних даних блок актуалізації формує поточну приведену модель об'єкта управління, яка надходить у блок порівняння станів. Розбіжність у значеннях станів формує нев'язку, за значенням якої блок формує набір команд управління. У відповідь на команди управління, що надійшли, розподілені об'єкти управління видають певні дані. Вимоги, що висуваються до користувача, не враховують структуру об'єкта управління, який виступає як «чорна скринька». Подальшим напрямом роботи є проведення досліджень щодо розробки методу переходу від структурної моделі до моделі поведінки, що використовується при логічній фільтрації.

Ключові слова: формалізація, судно, розподілений об'єкт управління, інформаційна модель, команда управління, параметр, база даних.

Постановка проблеми. Перспективним напрямком забезпечення навігаційної безпеки на судні, відповідно вимог резолюцій ІМО, вважається розробка і впровадження систем підтримки прийняття рішень безпеки судноводіння (СППР БС). Розроблювана система у процесі

свого функціонування циклічно повинна підтримувати внутрішні параметри судна у безпечних границях; забезпечувати навігаційну безпеку плавання і попереджати зіткнення суден. Вказані завдання забезпечення безпеки судноводіння є взаємопов'язаними, що визначає ідентичність методів їх вирішення.

Недостатньо ефективні рішення судноводія компенсуватимуться відповідною реакцією з боку СППР БС, яка автоматично надаватиме рішення судноводію після отримання, аналізу й обробки інформації. Сполучена множиною зв'язків з пристроями управління СППР БС фактично функціонує як автоматизована система, виконуючи завдання підтримки внутрішніх параметрів судна у безпечних межах і забезпечення його навігаційної безпеки. Але ж дана система, спираючись на множину неявних прямих та зворотних зв'язків, в умовах неповної інформації на окремих етапах управління повинна часто реалізовувати суперечливі цілі взаємодіючих елементів.

Отже, стає очевидним, що у таких умовах функціонування система навігаційної безпеки судноводіння має всі основні ознаки ієрархічності та слабкої формалізованості. Подолання таких недоліків пропонується досягати створенням нормативної, експертної та прецедентної інформаційних баз знань (БЗ) СППР БС.

У загальному випадку БС забезпечується кооперативною неантагоністичною взаємодією всіх учасників процесу (розподілених об'єктів управління – РОУ), які характеризуються цілеспрямованою поведінкою. Для вирішення завдання у вказаній постановці у СППР БС необхідно реалізувати траєкторно-цільовий підхід до прогнозування руху суден, які при спільному управлінні ними, представляються у вигляді інтелектуальних логіко-динамічних об'єктів (ЛДО). Кожний ЛДО характеризується цілеспрямованою поведінкою та реалізує безпечну траєкторію свого руху, виконуючи вимоги МППЗС-72 [1].

При завданні цільових позицій, критеріїв та зон безпеки руху кожного судна СППР БС формуватиме прогнозні траєкторії їх руху. Зазвичай, для моделювання подібних процесів використовують агентно-орієнтований підхід, коли кожний ЛДО буде представлятися агентом, а система їх взаємодії стане основою для формування правил поведінки СППР.

Таким чином, питання висвітлення підходів щодо формалізації розподілених об'єктів управління у моделі забезпечення навігаційної безпеки на судні є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Безпечне управління судном є класичним питанням теорії процесу прийняття рішень у морській навігації. Проблема вибору стратегій, що не призводять до зіткнення при управлінні судном у морі, розроблялася багатьма авторами як в контексті теорії ігор, так і в рульовому управлінні в умовах невизначеності [2–5]. Завдання уникнення зіткнень з іншими суднами як похідна більш загального завдання забезпечення навігаційної безпеки на судні ускладнюється при врахуванні випадкового характеру погоди і стану моря, неповноти знань про стан, характер виконуваних завдань та прийнятих рішень про параметри руху та маневрів інших судна і неточний характер Міжнародних правил запобігання зіткненням суден на морі (COLREG). Проблема визначення безпечних стратегій все ще залишається актуальним питанням у зв'язку з постійно зростаючим рухом суден у певних водних акваторіях. Це також є важливим через зростаючі вимоги до безпеки судноплавства і захисту навколишнього середовища, з одного боку, і розширенням можливостей використання комп'ютерних технологій, що підтримують роботу судноводія, з іншого.

У статті [6] наведено результати розробки системи підтримки прийняття рішень для ситуацій зіткнення при проходженні з великою кількістю об'єктів, що зустрічаються, яка була впроваджена в реальну судову електронавігаційну систему судна «Горизонт II». Джерелом вхідних даних для алгоритму визначення безпечної траєкторії руху судна є радіолокаційна система з автоматичною системою побудови радіолокаційних карт з відповідною системою передачі радіолокаційних даних. Безпечна оптимальна траєкторія власного судна визначається завдяки застосуванню алгоритму динамічного програмування. Пропонована система дозволяє передавати навігаційні дані з радіолокаційної системи та автоматично визначати безпечний маневр або безпечну траєкторію руху судна. Наведено перспективні шляхи подальшого розвитку системи підтримки прийняття рішень судноводія. Запропоновано підсистему планування маршруту для визначення глобального оптимального маршруту між портами з використанням алгоритмів мурашиної оптимізації. Але у статті не доведено оптимальність мурашиного алгоритму.

Забезпечення безпечної навігації з мінімальними експлуатаційними витратами є головним питанням сучасного морського транспорту. Здійснення навігації є складним процесом, оскільки

вимагає безперервного аналізу величезної кількості інформації. Неправильна оцінка поточної навігаційної ситуації може призвести до зіткнення суден, часто з дуже трагічними наслідками. Тому необхідно підтримувати палубних офіцерів у процесі прийняття рішень щодо запобігання зіткненням. У теперішній час на судах функцію системи попередження зіткнень виконує автоматична радіолокаційна система прокладання маршруту (ARPA). Відповідно до вимог Конвенції з охорони людського життя на морі (SOLAS), прийнятої Міжнародною морською організацією (IMO), всі судна валовою місткістю 10 000 тонн і більше, побудовані 1 липня 2002 року і пізніше, повинні бути обладнані автоматичною радіолокаційною системою прокладання маршруту [7]. Система ARPA забезпечує можливість автоматичного відстеження щонайменше 20 цілей. Система також генерує сигнал тривоги про небезпечну ціль, який вказує на те, що розраховані значення часу до найближчої точки зближення (TCPA) і відстані до найближчої точки зближення (DCPA) перевищують встановлені безпечні межі. Система ARPA також пропонує функцію підтримки уникнення зіткнення, яка називається пробним маневром. Використовуючи цю функцію, вахтовий помічник капітана має можливість перевірити наслідки запланованого маневру свого судна. Це дозволяє моделювати зміну курсу, а також зміну швидкості власного судна [8]. Таким чином, існує можливість покращити ефективність системи запобігання зіткненням шляхом впровадження системи підтримки прийняття рішень, яка автоматично визначає безпечну траєкторію руху власного судна.

Людська помилка є причиною 75–96 % морських аварій [9]. Застосування системи, що виключає людський суб'єктивізм у процесі прийняття рішень, призведе до зменшення кількості морських аварій, забезпечуючи захист життя та здоров'я людей, вантажу, що перевозиться, та навколишнього природного середовища. Крім того, система також забезпечить економічність перевезень, враховуючи критерій оптимальності у вигляді найменших втрат часу на обгін інших суден.

У статтях [10; 11] розглядається автоматична радіолокаційна система прокладання маршруту, основою якої є збір вхідних даних, що описують поточну навігаційну обстановку, з урахуванням специфіки процесу безпечного управління судном, що характеризується значними змінами курсу в діапазоні від 20° до 90° і зниженням швидкості

не більше ніж на 30 % та відповідає вимогам Міжнародних правил попередження зіткнень суден у морі (COLREGS). Вона також враховує погодні умови, розрізняючи ситуації доброї та поганої видимості, і включає динамічні характеристики власного судна. Але аспекти, що характеризують питання формалізації розподілених об'єктів управління у моделі, у даних роботах не описані.

Постановка завдання. Мета дослідження. Розробка підходів щодо формалізації розподілених об'єктів управління у моделі забезпечення навігаційної безпеки на судні.

Виклад основного матеріалу. Очевидно, що у розглянутій предметній області розподілені об'єкти управління (РОУ) тісно взаємодіють, причому структура і динаміка їхнього функціонування знаходяться в постійному і складному взаємозв'язку. Отже, структурна модель РОУ відображає динаміку функціонування системи.

Представимо модель РОУ Ω у вигляді сукупності взаємопов'язаних класів та об'єктів, що належать цим класам:

$$\Omega = \Theta, z, D, \quad (1)$$

де Θ – сукупність класів (сутностей), які моделюють предметну область, $\Theta = \{Q_{ent}, Q_{rel}\}$;

Q_{ent} – множина класів сутностей предметної області;

Q_{rel} – множина класів відношень між сутностями;

D – сукупність даних, отриманих шляхом вимірювань.

Актуалізація складу та структури системи або стану окремих об'єктів залежить від їх інтерпретації функцією Z ; де z – відношення актуалізації, яке здійснює породження об'єктів класів з Θ на основі даних D , а також актуалізацію стану об'єктів.

При розгляді моделі (1) системи управління судном за Θ виступає схема бази даних, відношення z реалізується функціями логіки судноводія, а в якості D виступають дані, які заносяться в систему.

Якщо структура об'єкта управління є відносно постійною, то відношення актуалізації представляються двома складовими – відношенням актуалізації структури (об'єктів і зв'язків між ними) об'єкта управління z_s і відношенням актуалізації параметрів z_p моделей елементів розподіленої системи:

$$z = \{z_s, z_p\}. \quad (2)$$

Моделлю $\psi = (Ob, R)$ є сукупність об'єктів Ob та відношень між ними R , отриманих у результаті застосування відношень актуалізації до сукупності класів Θ на сукупності даних D :

$$R \subseteq \bigcup_{n \in N} Ob^n, \quad (3)$$

де Ob^n – декартовий добуток n множин Ob ;

N – максимальна кардинальність відношень між об'єктами.

За допомогою виразу (3) фіксується поточний стан (структура і параметри) РОУ. Наведеною моделлю в системі управління судном є поточний стан бази даних, а наведеною моделлю модуля контролю – xml-опис топології корпоративної мережі.

Функціонування інформаційної моделі об'єкта управління (ОУ) наведено на рис. 1. На основі поточних даних Θ блок актуалізації z формує поточну приведену модель об'єкта управління ψ яка надходить у блок порівняння станів $diff$. Розбіжність у значеннях станів формує нев'язку δ , за значенням якої блок eff формує набір команд управління C . У відповідь на команди управління, що надійшли, РОУ видає певні дані. Вимоги R , що висуваються до користувача, не враховують структуру об'єкта управління, який виступає як «чорна скринька».

Відповідно до виразу (2), інформаційна модель об'єкта управління може бути представлена моделлю структури об'єкта управління z_s , що повільно змінюється, і моделлю стану окремих елементів управління z_p . Відповідно, це приводить (рис. 2) до виділення блоків актуалізації структури та параметрів.

Представимо дану модель управління як модель подій. Тоді множину подій D_p можна вважати дискретною, а для переходу від безперервних значень до дискретних застосуємо порогову логіку.

Набір параметрів та порогових значень елемента об'єкта управління описуватиметься у класі елемента. Отже, значення полів об'єктів у наведеній моделі ψ будуть приймати дискретні значення, відповідно до описаної множини порогових значень. Тоді специфікація R до стану об'єкта управління буде визначатися набором допустимих дискретних значень параметрів елементів об'єкта управління. Нев'язка формується як набір недопустимих значень параметрів, на основі яких з бази блоку eff відбувається вибір правил управління.

Наведені міркування дозволяють перейти до специфікації наведеної схеми до логічної фільтрації подій у СППР. У системах подій потік даних D проходить попередню обробку, що полягає в дискретизації значень. Прийняття рішення про наявність нев'язки приймається у два етапи.

На першому етапі формується множина нев'язок станів елементів $\{\delta_i\}$ складових РОУ.

Еталонний стан R визначається програмними процедурами, що дискретизують значення D_p елемента та формують події. Нев'язкою є перехід елемента в один із недопустимих станів.

На етапі логічної фільтрації передбачається проектування множини нев'язок $\{\delta_i\}, i = 1 \dots N$, на модель поведінки РОУ. Це пояснюється, з одного боку, як реалізація відношень актуалізації, а, з іншого, – як формування нев'язки РОУ $\{\delta_j\}, j = 1 \dots M, M < N$, як цілого. Тому у системі відбувається об'єднання блоків формування нев'язки $diff$ та актуалізації z_p . Контур, пов'язаний з контролем структури РОУ, залишається без зміни.

Висновки. Запропонований підхід не дозволяє перевірити коректність кінцевої моделі переходів, що отримана шляхом об'єднання моделей окремих елементів РОУ. Це пояснюється тим, що результуюча модель повинна бути ациклічною, оскільки граф залежностей подій не містить циклів та інших тупиків. Для досягнення зазначеної властивості необхідно застосувати алгебраїчний підхід до опису поведінки елементів РОУ. Тобто потребує розробки метод переходу від структурної моделі, що отримує на виході z_s , до моделі поведінки, що використовується при логічній фільтрації.

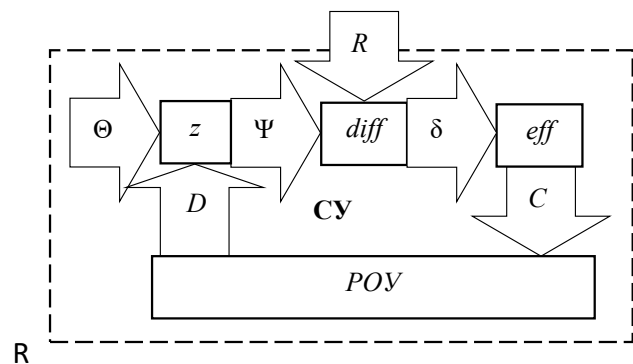


Рис. 1. Цикл управління розподіленого об'єкта управління

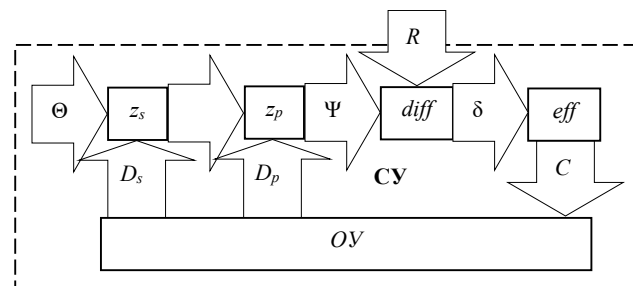


Рис. 2. Цикл управління об'єктом при деталізації моделі

Запропонований підхід до формалізації процесу розробки моделі об'єкта управління при наявності впливів зовнішнього середовища, що можуть викликати зміни його структури. Для

компенсації впливів розроблено модель РОУ. Вона являє собою трійку, до складу якої входять схеми класів, даних і відносини актуалізації.

Список літератури:

1. Конвенція про Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі 1972 року : Конвенція Міжнар. мор. орг. від 20.10.1972 р. : станом на 17 листоп. 1992 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_137#Text (дата звернення: 02.04.2024).
2. Mishima, S., Kinnas S. A. Application of numerical optimization technique to the design of cavitating propellers in non-uniform flow. *Journal of Ship Research*. 1997. Vol. 41. P. 93–107. DOI: 10.5957/jsr.1997.41.2.93.
3. Gaafary M. M., El-kilani H. S., Moustafa M. M. 2010. Optimum design of b-series marine propellers. *Alexandria Engineering Journal*. Vol. 50. № 1. P. 13–18. DOI: 10.1016/j.aej.2011.01.001.
4. Nakisa M., Abbasi M. J., Amini A. M. Assessment of marine propeller hydrodynamic performance in open water via cfd. In *Proceedings of MARTEC 2010*. 2010. Vol. 389. P. 1019–1025. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.389.1019
5. Sheng H., Xiang-yuan Z. CFD simulation of propeller and rudder performance when using additional thrust fins. *Journal of Marine Science and Application*. 2007. Vol. 6 (4). P. 27–31. DOI:10.1007/s11804-007-7023-3.
6. Łazarowska A. Decision support system for collision avoidance at sea. *Polish Maritime Research*. 2012. Vol. 19. № 74S. P. 19–24. DOI:10.2478/v10012-012-0018-2.
7. Wolejsza P., Szewczuk T. Analysis of navigational data availability on the basis of m/s Nawigator XXI. *Scientific Journals, Maritime University of Szczecin*. 2008. No. 13 (85). P. 115–119.
8. Bole A., Dineley B. Radar and ARPA manual. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 2000. 539 p.
9. Key to successful incident inquiry / Rothblum A.M. et al. In *Proceedings 2nd international workshop on human factors in offshore operations*, HFW2002, Houston, TX. P. 1–6.
10. Cockcroft A.N., Lameijer J.N.F. A guide to collision avoidance rules. Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2012. 183 p.
11. Lisowski J. Computational intelligence methods in the safe ship control process. *Polish Maritime Research*. 2001. No. 1. Vol. 8. P. 18–24.

Trofymenko I.V., Plita L.L., Ivanenko V.M., Fedunov V.M. AN APPROACH TO FORMALISATION OF DISTRIBUTED CONTROL OBJECTS IN THE MODEL OF ENSURING NAVIGATION SAFETY ON A SHIP

The purpose of the article is to study the approaches to formalising distributed control objects in the model of ensuring navigation safety on a ship. This goal is achieved by analysing the sources of information related to solving the task of formalising control objects in ensuring navigation safety on board a ship, as well as the processes directly related to ensuring navigation safety of navigation. It is established that a promising direction of ensuring navigation safety on board a ship is the development and implementation of decision support systems for navigation safety. It is proved that distributed control objects are characterised by close interaction with a clearly defined structure and dynamics of functioning. The model of distributed control objects is represented by a set of interconnected classes and objects belonging to these classes. To update the composition and structure of the system or the state of individual objects, an update relation is used, which generates class objects based on data, as well as updates the state of objects. In the article, when considering the model of a ship control system, the actualisation relation is implemented by the functions of the navigator's logic, and the data entered into the system are used as data. In the case of a relatively constant structure of the control object, the actualisation relation is represented by two components – the relation of actualisation of the structure (objects and links between them) of the control object and the relation of actualisation of parameters of models of elements of the distributed system. It is proposed to record the structure and parameters of distributed control objects, to consider the current state of the database as the model in the ship's control system, and the model of the control module as an xml description of the corporate network topology. The most significant result of the study is a description of the functioning of the information model of the control object, where, based on the current data, the updating unit forms the current reduced model of the control object, which is fed into the state comparison unit. The discrepancy in the values of the states forms a discrepancy, according to the value of which the block generates a set of control commands. In response to the incoming control commands, distributed control objects produce certain data. The requirements for the user do not take into account the structure of the control object, which acts as a black box. Further work is to conduct research on the development of a method for transition from the structural model to the behavioural model used in logical filtering.

Key words: formalisation, ship, distributed control object, information model, control team, parameter, database.