

# Автомобільний, річковий, морський та авіаційний транспорт

УДК 656.6

doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.034

А. А. Замана, І. Л. Гусак

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ БЕЗПЕЧНОЇ ШВИДКОСТІ СУДЕН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН ВНУТРІШНІМ ВОДНИМ ТРАНСПОРТОМ

**Анотація.** Метою даної роботи є побудова архітектури системи управління рухом судна на основі модифікації принципів побудови самої моделі системи управління судном з використанням нових підходів до формалізації процесів збору та обробки інформації. Поставлена мета досягається шляхом аналізу основних варіантів побудови моделей руху судна (МРС), розроблення методики її формування на основі збереженої інформації про рух судна, синтезу МРС з використанням апарату нечіткої логіки та оцінки якості їхньої роботи, побудови агентної моделі управління руху судна на основі розробленої МРС. Найсуттєвішим результатом є розробка структури агентної системи обробки вихідних даних від вимірювального комплексу та математичний опис даної системи агентами, об'єктами довкілля та подіями, які в ньому відбуваються. Крім того, елементи системи пов'язані між собою реакцією довкілля на дію або бездіяльність агентів, що розглядаються як закони функціонування системи. Значущість отриманих результатів складається у розробці методики і структури системи формування моделі руху судна, яка відрізняється використанням результатів вимірювань станів судна і умов його плавання протягом регулярних рейсів та формуванням на цій основі бібліотеки. Особливістю одержаних результатів є накопичення в структурованій бібліотеці даних, вимірних після оцінювання їхньої новизни, та їх періодичне використання для уточнення моделей. Запропонована структура бібліотеки моделей і бази вихідних даних, які аналогічні за побудовою, і містять два розділи – станів судна та умов плавання, що безпосередньо впливає на методику вибору необхідної моделі з бібліотеки. Відміна від відомих робіт полягає у структуруванні умов плавання на основі положень теорії нечітких множин, що дозволило обирати моделі, які найбільше підходять до поточної ситуації без використання для їх формування додаткового маневрування. Для реалізації мультиагентних систем, що функціонують у реальному часі, запропоновано розробити модуль прийняття рішення агентом і реалізувати функції цілепокладання під час реалізації прийнятих рішень. Запропоновані підходи дозволяють підвищити якість формального опису розв'язуваних задач, формалізувати процеси збору й обробки інформації про стан судна та умови плавання і реалізувати архітектуру системи керування судном для різних умов.

**Ключові слова:** судно, безпечна швидкість, система управління рухом, система керування судном, формалізація, збір та обробка інформації, модель руху судна, методика, нечітка логіка, теорія нечітких множин, агент, агентна система, мультиагентна система, вимірювальний комплекс, стан судна, умови плавання судна, бібліотека даних, реальний час, прийняття рішень.

### Вступ

Забезпечення безпеки плавання у внутрішніх водах є одним із найактуальніших і найскладніших завдань сучасного судноводіння. Складність завдання зумовлена його багато-факторністю, а актуальність – тяжкими наслідками аварійних випадків. Найнебезпечнішими для плавання вважаються обмежені акваторії річок [1, 2], на які припадає найбільша кількість аварійних випадків, що мали місце. Під час плавання в цих акваторіях керування судном, як правило, здійснюється в ручному режимі, завдяки чому його результати виявляються значною мірою залежними від людини, її кваліфікації, досвіду та інформованості [1].

Одними з найбільш значущих чинників аварійності є наявність помилок в оцінці поточної навігаційної обстановки, відсутності достовірної прогностичної інформації про розвиток процесу та оцінки ступеня небезпеки цього процесу [1, 2]. На жаль, можливості судноводіїв щодо оцінювання ступеня складності та небезпеки поточної ситуації, а особливо прийняття якісних рішень, які забезпечують вихід із небезпечних ситуацій, вельми обмежені [2, 3]. Так, з огляду на те, що людина здатна зберігати у своїй

оперативній пам'яті не більше ніж  $7 \pm 2$  оперативні образи [4], ментальне опрацювання доволі об'ємної вхідної інформації, що відбувається під час плавання, не може бути виконано гарантовано коректно.

Впроваджені наразі на судна електронні картографічні навігаційно-інформаційні системи (ЕК-НІС) [5] істотно розвантажують судноводія від рутинної роботи, пов'язаної з розв'язанням формальних навігаційних завдань, розширюють склад його інформаційної бази, полегшують доступ до потрібної інформації, надають інформацію в зручному для оцінки ситуації вигляді. Усе це сприяє концентрації зусиль судноводіїв безпосередньо на оцінці поточної ситуації та прийнятті рішень з управління судном. Але навіть у цих умовах завдання прийняття рішення судноводієм виявляється доволі складним через низку причин, основними з яких є:

– висока відповідальність за прийняте рішення, зумовлена значними можливими негативними його наслідками;

– необхідність урахування значної кількості чинників (умов плавання, динамічних характеристик судна, характеру виконуваного завдання, рівня підготовки та ступеня злагодженості дії екіпажу, стан

машин і механізмів та ін.), які мають різну природу, і випадковий характер;

– відсутність повної і достовірної інформації, необхідної судноводієві для прийняття рішень;

– різноманіття можливих ситуацій, як штатних, так і позаштатних, що вимагають оперативного прийняття рішення;

– обмежений час на прийняття рішення під час плавання річками, особливо в разі виникнення позаштатних й аварійних ситуацій;

– необхідність наявності досвіду прийняття рішень при виникненні позаштатних ситуацій.

У цих умовах особливої актуальності набуває прогнозна інформація. Вона дає змогу не тільки судити про майбутній стан судна, а й оцінити ступінь його небезпеки, а за наявності відповідної бази знань – дати рекомендації судноводію щодо виходу з небезпечної ситуації.

Однак прогнозування параметрів стану судна, як і вирішення завдань керування його рухом, неможливе без наявності якісної моделі руху судна (МРС) [6], яка б у реальних умовах плавання відображала особливості поведінки конкретно того судна, на якому реалізовано модель. Створенню зазначених моделей присвячено велику кількість робіт [7-17].

Об'єктом дослідження переважної більшості цих робіт є МРС, в основі яких лежать рівняння руху судна. Однак ці моделі мають низку суттєвих недоліків, основними з яких є:

– досить складна структура рівнянь, які навіть наближено описують рух судна, що ускладнює ідентифікацію його параметрів;

– значна залежність коефіцієнтів рівнянь (параметрів майбутньої моделі) від технічних параметрів судна, його поточного стану та умов плавання, що істотно ускладнює вибір найкращих їхніх значень для формування шуканої прогностичної інформації.

Зазначені обставини роблять актуальними вирішення таких основних завдань:

– оцінка можливості використання для формування МРС підходів, заснованих на інтелектуальних інформаційних технологіях;

– розроблення методики формування моделей, що використовують ці підходи, та оцінювання якості їхньої роботи.

**Аналіз літератури.** На сьогоднішній день розроблено велику кількість підходів щодо побудови систем керування судном. Досить очевидно альтернативою традиційному підходу формування МРС можуть слугувати моделі типу "чорний ящик" і "нечіткі" моделі, побудовані з використанням апарату нечіткої логіки [5]. Ефективність використання зазначених моделей для розв'язання цієї задачі практично не досліджено, тоді як їх досить успішно застосовують у багатьох технічних і прогностичних системах [18-24]. Нечіткі системи є одним із бажаних підходів до побудови апроксиматорів безперервних процесів та їхніх похідних [5, 25], не потребують математичного опису об'єкта керування або процесу, досить прості за структурою, тому саме їх було прийнято для подальшого дослідження в роботі. Однак їхнє використання породжує монолітну конструкцію моделі,

яка слабо піддається модифікації та доопрацюванню, що зумовлює вибір агентного підходу до її побудови.

Формування моделі може здійснюватися безпосередньо перед її використанням [7, 13, 14, 26]. Однак під час плавання в обмежених акваторіях це здійснити практично складно внаслідок того, що для ідентифікації параметрів потрібен досить великий обсяг вихідної інформації, який складно сформувати в обмежених часових і просторових рамках. Використання судна на внутрішніх водах, зокрема на р. Дніпро, дає змогу провести попереднє формування необхідної бази даних (БД), використовуючи яку, можна синтезувати оптимальну модель без додаткових вимірювань. Цю базу можна формувати на підставі наявних БД, лоцій, навігаційної та гідрографічної інформації, а також постійного автоматичного моніторингу параметрів руху судна та умов плавання в процесі виконання звичайних рейсів і обробки отриманих даних за спеціально розробленими алгоритмами. Зазначений підхід скоротить час, що витрачається на формування самої моделі, практично до нуля і повністю виключить необхідність виконання додаткових маневрів для збирання даних під час плавання в обмежених акваторіях. Однак цілісної методики, що охоплює і процес формування баз вихідних даних, і синтез моделі, використовуючи ці дані, наразі не існує.

Це визначає необхідність проведення досліджень і дає змогу сформулювати актуальну наукове завдання з розроблення методів і моделей підвищення безпеки руху судна під час плавання у внутрішніх водах на основі прогностичної інформації стану об'єкта управління та зовнішньої обстановки.

**Метою** статті є побудова архітектури системи управління рухом судна на основі модифікації принципів побудови самої моделі системи управління судном з використанням нових підходів до формалізації процесів збору та обробки інформації.

## Основна частина

Вирішення сформульованого завдання з розроблення моделей руху судна та розроблення архітектури системи керування потребують всебічного розгляду та вирішення таких часткових завдань:

– аналіз основних варіантів побудови МРС;

– розроблення методики формування МРС на основі збереженої інформації про рух судна;

– синтез МРС з використанням апарату нечіткої логіки та оцінка якості їхньої роботи;

– побудова агентної моделі управління руху судна на основі розробленої МРС.

У загальному випадку модель керованої динамічної системи повинна з необхідною точністю відтворювати зміну стану цієї системи з плином часу за заданих керуючих впливів у заданих умовах її функціонування. Практична цінність побудови зазначених моделей полягає в тому, що за їхньою допомогою без істотних економічних і часових витрат можна вивчити особливості поведінки системи в різних експлуатаційних умовах, оцінити вплив конструктивних параметрів об'єкта керування, а також керівних дій на характер досліджуваного процесу, синтезувати оптимальні варіанти керування процесом, прогнозувати

розвиток процесу під час його практичної реалізації. Річкові судна є складними і дорогими технічними системами, що функціонують в умовах зовнішнього середовища, що змінюються. Тому багато завдань їхнього проектування, керування рухом, забезпечення безпеки плавання не можуть бути вирішені без попереднього дослідження якості вирішення завдань із використанням моделей їхнього руху.

Залежно від конкретних завдань моделювання до використаної моделі висуваються різні вимоги. Серед цих завдань виділимо випадки, коли:

- модель руху судна має забезпечувати можливість оцінювання впливу очевидних і легко вимірюваних параметрів судна та системи керування на його поведінку,

- модель будується для фіксованих параметрів конкретного судна і вище названа вимога не є обов'язковою.

Для практичної реалізації завдання формування МРС у рамках розглянутого підходу необхідно періодично протягом регулярних рейсів проводити вимірювання поточних станів судна та умов його плавання, представляючи результати цих вимірювань у вигляді структурованої бази вихідних даних, які використовуються для синтезу моделей. Зі свого боку, моделі, синтезовані з використанням цих даних, мають бути представлені у вигляді бібліотеки МРС, з якої обирають модель, що якнайкраще відповідає поточному режиму й умовам плавання. Поряд із цим має проводитися оцінювання якості роботи обраної моделі і за необхідності здійснюватися корекція її параметрів. Усі зазначені завдання можуть бути вирішені системою формування МРС, структура якої наведена на рис. 1.

До складу системи входять:

- вимірювальний комплекс (ВК), що формує параметри вектора стану судна і вектора, який визначає умови плавання;

- модуль вихідних даних;
- формувач структур і параметрів МРС;

- модуль формування поточної моделі руху судна;

- модуль корекції параметрів доступних моделей;

- модуль, що містить модель судна, використовувану в конкретний розглянутий часовий відрізок.

Запропонована структура забезпечує постійне оновлення та поповнення бази вихідних даних, що дозволяє своєчасно коригувати параметри збережених моделей руху судна відповідно до змін динамічних характеристик судна.

Поточний стан судна визначається такими основними параметрами, значення яких використо-

вуються за будь-якого підходу до формування моделі судна:

- $V_x, V_y, \dot{V}_x, \dot{V}_y$  – складові лінійної швидкості та прискорення за осями, пов'язаними із судном;

- $\omega_z, \dot{\omega}_z$  – кутова швидкість і прискорення повороту судна;

- $n$  – число обертів гвинта;

- $\beta$  – кут перекладки керма;

У свою чергу, для характеристики умов плавання використовуються:

- $H$  – глибина під кілем судна;

- $T$  – осадка судна;

- $V_k$  – швидкість уявного вітру;

- $K_{\text{віт}}$  – курсовий кут удаваного вітру;

- $\alpha_{\text{в}}$  – кут хвильового схилу;

- $K_{\text{в}}$  – кут набігу хвилі.

Створену базу вихідних даних структурують відповідно до поточних станів судна й умов плавання (рис. 2). Запропонований підхід може бути реалізовано з використанням агентного підходу. За його допомогою можливо структурувати процес оброблення даних і провести декомпозицію комплексу накопичення та структурування вихідних даних. Усю область  $R$  визначення вектора  $X$  розбивають на кінцеву кількість підобластей  $r_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ),  $r_i \in R$ , кожній з яких відповідає певна структура моделі. Аналізатор режиму руху судна співвідносить поточний

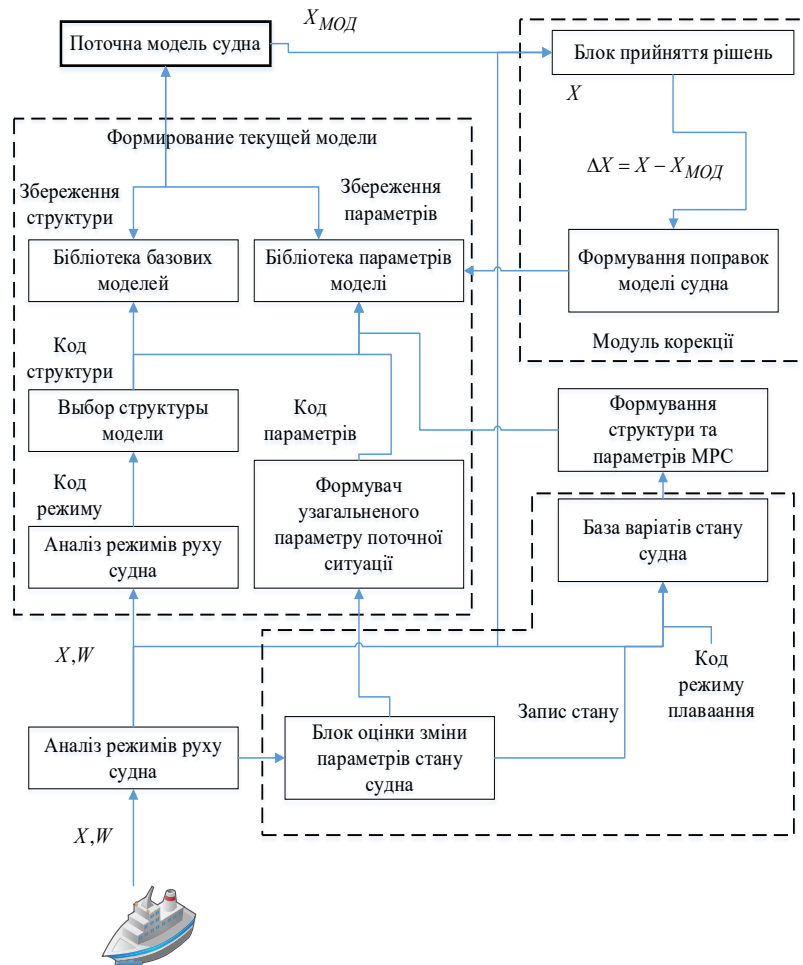


Рис. 1. Структура системи формування моделі руху судна

режим  $X$ , що надходить із вимірювального комплексу, з одним із  $m$  можливих режимів, у межах яких структура моделі вважається незмінною, і вибирає його як кластер для запису поточних умов плавання.

Діапазон поточних умов плавання  $W$  розбивається на кінцеву кількість  $n$  кластерів, усередині яких ступінь впливу умов плавання на рух судна можна вважати постійним. Кількість кластерів залежить від параметрів судна і вимог, що висуваються до якості моделювання. Початкове значення  $n$  може бути визначено для кожного судна на основі експертних даних, а згодом автоматично уточнено за оцінками якості роботи використовуваних моделей. Для кодування кластерів умов плавання з метою відмінності їх один від одного можуть бути використані підходи, засновані на положеннях теорії нечітких множин і теорії розпізнавання. Відповідні приклади наведено нижче.

Таким чином, у результаті формується бібліотека вихідних даних, з якої легко можна вибрати відомості, необхідні як для формування структури МРС для кожного з  $n$  кластерів, так і параметри цієї структури, що відповідають прийнятним умовам плавання.

Реалізація цього підходу передбачає новий підхід до вибору і реалізації архітектури системи управління судном. Найперспективнішим є використання агентного підходу. На рівні прикладної логіки агенти здійснюють операції, безпосередньо пов'язані з вирішенням різних завдань системи керування. Рівень платформи виконання, або проміжний рівень (Middleware), є інтерфейсом між апаратною платформою, який "склеює" розподілені компоненти системи. Рівень фізичної інфраструктури пов'язаний з об'єктами реального світу, такими як вимірювальний комплекс судна. Фізична інфраструктура має реалізовувати взаємодії з об'єктом фізичної реальності, наприклад, таким, як судно.

Мультиагентна система визначається множиною елементів системи і зв'язків між ними. Основними елементами мультиагентної системи є агенти, об'єкти довкілля та події, які в ньому відбуваються. Елементи такої системи пов'язані між собою законами функціонування системи – реакцією довкілля на дію або бездіяльність агентів [8]. У загальному вигляді модель мультиагентної системи  $\Psi$  може бути представлена коротцем

$$\Psi = \langle \Theta, P_{\Psi}, E, \delta_{\Psi}, S_{\Psi}, S_{\Psi_0} \rangle, \quad (1)$$

де  $\Theta$  – множина об'єктів довкілля;  $P_{\Psi}$  – множина параметрів довкілля;  $E$  – множина подій, що можуть відбуватися в середовищі;  $S_{\Psi}$  – множина всіх можливих станів системи;  $S_{\Psi_0}$  – початковий стан системи;  $\delta_{\Psi}$  – функція переходу між станами  $S_{\Psi}$ .

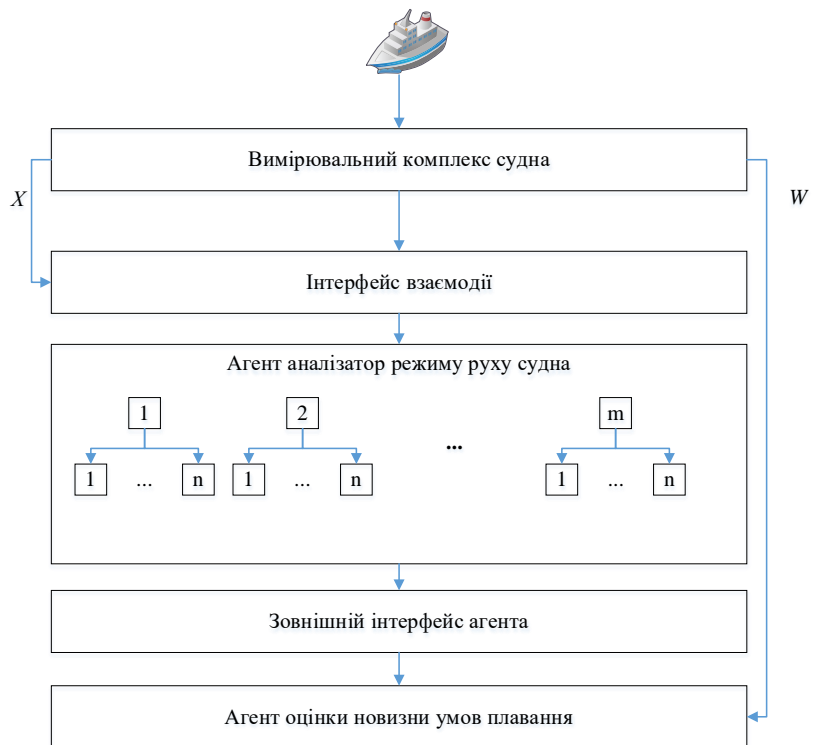


Рис. 2. Структура агентної системи обробки вихідних даних від вимірювального комплексу

Агент може взаємодіяти з іншими агентами та інтерактивними об'єктами, здійснюючи над ними дії. Для кожного інтерактивного об'єкта відомі фізичні аспекти його моделі та поведінкові реакції за різних способів взаємодії. Під час здійснення дій агент може використовувати інструменти – параметри, пов'язані з реальними об'єктами, з якими агент взаємодіє і "знає". Взаємодія відбувається на дистанції, що визначається способом взаємодії – класом дії та використовуваними інструментами. У кожен момент часу агент може здійснювати не більше однієї дії. Тривалість дії також визначається класом дії та інструментами. Послідовність дій, які виконує агент у процесі моделювання, формує поведінку агента, що проявляється у вигляді і як безпосередньо спостережуваних дій, і як зміни прихованого внутрішнього стану – пам'яті. Пропонована структура агента наведена на рис. 3.

Планування переміщень судна та уникнення зіткнень здійснюється системою навігації агента й є важливим елементом ефективного функціонування системи в цілому. Для взаємодії з об'єктами довкілля судно має перебувати в межах певної області простору в околиці цільового об'єкта. Щоб зайняти необхідну позицію, судно має здійснити переміщення в просторі реального світу. Для кожного способу взаємодії може бути визначено своє необхідне взаєморозташування судна і навколишніх об'єктів.

Для визначення бажаної позиції агента в просторі пропонується використовувати абстрактний об'єкт – «ціль навігації». Ціль (мета) навігації завжди асоційована з об'єктом агентної системи, з яким агент має намір взаємодіяти, та описує обмеження, що визначають допустиме й оптимальне взаємне розташування судна й об'єкта.

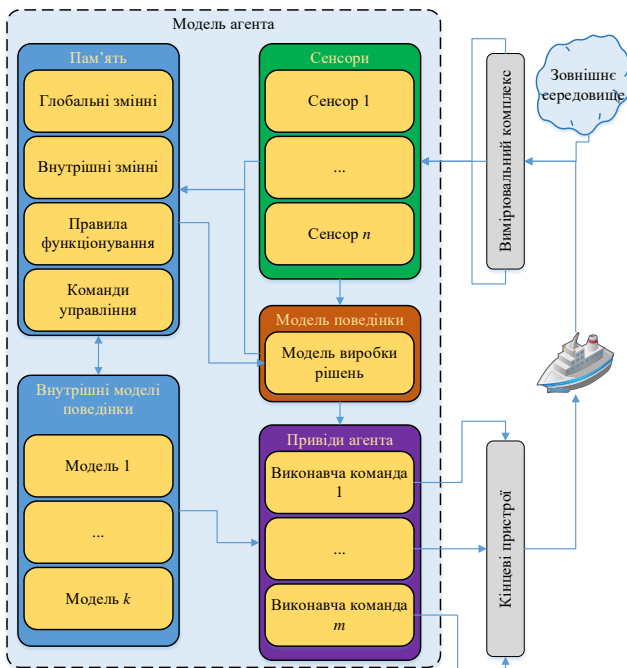


Рис. 3. Пропонована модель агента

Під час побудови маршруту координати цільової точки визначаються не об'єктом, над яким буде виконуватися дія, а ціллю навігації, яка відповідає бажаній дії, як показано на рис. 4.

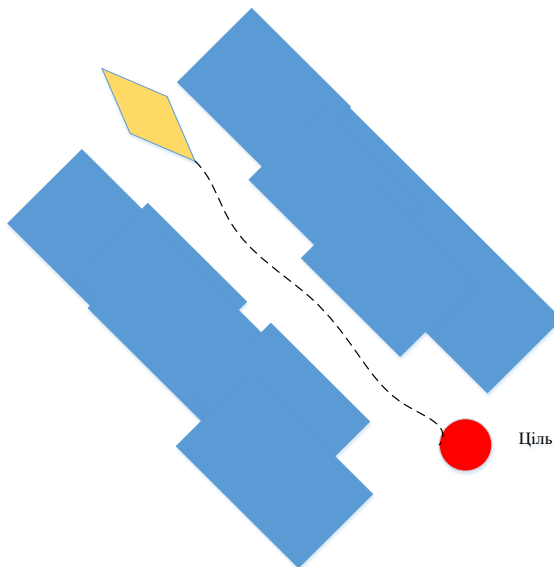


Рис. 4. Внутрішня ціль агента

Ціль навігації  $O_{nav}$  визначає область, в яку має прийти судно, враховані обмеження і швидкість переміщення. Модель цілі навігації може бути представлена короткем:

$$O_{nav} = \langle \theta_{target}, f_{arrival}, f_{position}, m_{movement} \rangle, \quad (2)$$

де  $\theta_{target}$  – цільовий об'єкт навколишнього середовища;  $f_{arrival}: S_{\Theta}^2 \rightarrow [0; 1]$  – функція оцінки близькості до цілі;  $f_{position}: S_{\Theta}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$  – функція, що повертає абсолютне значення координат цілі в просторі навколишнього середовища;  $m_{movement}$  – обмеження на переміщення.

Функція оцінки ступеня близькості до цілі повертає дійсне число в діапазоні  $[0; 1]$ . Для будь-якої точки за межами області, визначеної метою навігації,  $f_{arrival} = 0$ ; для точок, усередині оптимальної для взаємодії області –  $f_{arrival} = 1$ , для всіх інших точок значення функції дорівнює нормованій відстані до межі допустимої області.

### Висновки

Розроблено методику і структуру системи формування моделі руху судна, що використовує результати вимірювань станів і умов плавання судна протягом регулярних рейсів, а також методику вибору необхідної моделі з бібліотеки. Виміряні дані після оцінювання їхньої новизни накопичуються в структурованій бібліотеці вихідних даних, звідки їх періодично витягують для уточнення моделей, що використовуються. Структури бібліотеки моделей і бази вихідних даних аналогічні і містять два розділи – станів судна та умов плавання. Структурування умов плавання проводилося з використанням положень теорії нечітких множин. Зазначений підхід дав змогу обирати моделі, які найбільше підходять до поточної ситуації без використання для їх формування додаткового маневрування.

Виявлено проблеми процесу розроблення мультиагентних систем реального часу, розв'язання яких передбачає розроблення модуля прийняття рішення агентом і реалізації функції цілепокладання під час реалізації ухвалених рішень.

Використання цих підходів дозволить підвищити якість розроблення формальних описів розв'язуваних задач, використати різноманітний математичний апарат для формалізації задач збору й обробки інформації про стан судна та умови плавання, а також розробити архітектуру реалізації системи керування судном для різних умов.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Правил судноплавства на внутрішніх водних шляхах України // Наказ міністерства транспорту України від 16.02.2004 р. №91 (зі змінами) // <https://www.google.com/> (Дата звернення 06.10.23).
2. Правила плавання по внутрішнім водним путям України // <https://www.google.com/> (Дата звернення 06.10.23).
3. Alur, R. A theory of timed automata / R. Alur, D. L. Dill // Theoretical Computer Science. — 1994. — Vol. 126, no. 2. — Pp. 183–235.
4. Борсук С.П. Ергономічні основи проактивної кваліметрії закономірностей прояву людського чинника в аеронавігаційних системах : дис. ... кандидата техн. наук 05.01.04 / Борсук Сергій Павлович. Харків, 2019. — 378 с.
5. Вагушенко Л.Л. Підтримка рішень по расхождению с судами / Л.Л. Вагушенко. — Одесса: Феникс, 2010. — 229 с.
6. Тихонов І.В. Методологічні основи поліергатичного забезпечення навігації та управління рухом водних транспортних засобів (цільова технологія безпеки) : дис. ... канд. техн. наук 05.22.13 / Тихонов Ілля Валентинович. Київ, 2018. — 441 с.
7. Alur, R. Timed automata // Proc. 11th International Conference on Computer Aided Verification. — London (UK): Springer-Verlag, 1999. — Pp. 8–22.

8. Andreka, H. Handbook of Philosophical Logic / H. Andreka, I. Nemeti, I. Sain // Handbook of Philosophical Logic / Ed. by D. Gabbay. — Kluwer, 1997.
9. Antoniotti, M. Synthesis and verification of discrete controllers for robotics and manufacturing devices with temporal logic and the Control-D system: Ph.D. thesis / New York University. — New York, NY, USA: New York University, 1995.
10. AUV local path planning based on virtual potential field / D. Fuguang // IEEE International Conference Mechatronics and Automation, 2005. T. 4. — 2005. — C. 1711—1716.
11. Aziz, A. BDD variable ordering for interacting finite state machines // Proc. 31st annual conference on Design automation. — San Diego (USA): ACM Press, 1994. — Pp. 283–288.
12. Bacchus, F. Planning for temporally extended goals / F. Bacchus, F. Kabanza // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence. — 1998. — Vol. 22, no. 1-2. — Pp. 5–27.
13. Badler N.I., Reich B.D., Webber B.L. Towards personalities for animated agents with reactive and planning behaviors // Creating Personalities for Synthetic Actors: Towards Autonomous Personality Agents. — Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1997. — C. 43—57. — ISBN 978-3- 540-68501-2.
14. Baeten, J. C. M. A brief history of process algebra / J. C. M. Baeten // Theor. Comput. Sci. — 2005. — Vol. 335, no. 2-3. — Pp. 131–146.
15. Baier, C. Approximate symbolic model checking of continuous-time markov chains // Proc. 10th International Conference on Concurrency Theory. — London (UK): Springer-Verlag, 1999. — Pp. 146–161.
16. Beer R.D., Gallagher J.C. Evolving dynamical neural networks for adaptive behavior // Adaptive behavior. — 1992. — T. 1, № 1. — C. 91—122.
17. Bel-Enguix G., Jimenez-Lopez M.D. Agent-environment Interaction in a Multiagent System: A Formal Model // Proceedings of the 9th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation. — London, United Kingdom : ACM, 2007. — C. 2607—2612. — (GECCO '07). — ISBN 978-1- 59593-698-1. 107.
18. Berg J. van den, Lin M.C., Manocha D. Reciprocal Velocity Obstacles for RealTime Multi-Agent Navigation // IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION. — IEEE, 2008. — C. 1928—1935.
19. Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G. Swarm Intelligence. From Natural to Artificial Systems. — Oxford University Press, 1999. — 322 c. — (Santa Fe Institute Studies on the Sciences of Complexity). — ISBN 0195131584.
20. Bonet, B. Heuristic search planner 2.0 / B. Bonet, H. Geffner // The AI Magazine. — 2001. — Vol. 22, no. 1. — Pp. 77–80.
21. Bonet, B. Planning as heuristic search / B. Bonet, H. Geffner // Artificial Intelligence. — 2001. — Vol. 129, no. 1-2. — Pp. 5–33.
22. Borgo, S. Coalitions in action logic // Proc. Twentieth International Joint Conference on Artificial Intelligence. — Hyderabad (India): 2007. — January. — Pp. 1822–1827.
23. Brand, D. On communicating finite-state machines / D. Brand, P. Zafiropulo // J. ACM. — 1983. — Vol. 30, no. 2. — Pp. 323–342.
24. Bratman, M. E. Intention, plans, and practical reason / M. E. Bratman. — Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.
25. Bryant, R. E. Symbolic boolean manipulation with ordered binary-decision diagrams / R. E. Bryant // ACM Computing Surveys. — 1992. — Vol. 24, no. 3. — Pp. 293–318.
26. Bryant, R. E. Graph-based algorithms for boolean function manipulation / R. E. Bryant // IEEE Transactions on Computers. — 1986. — Vol. C-35, no. 8. — Pp. 677–691.

Received (Надійшла) 23.08.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.10.2023

### Method of determination criteria for safe speed of vessels while navigating the Dnipro river

A. Zamana, I. Husak

**Abstract.** The aim of this paper is to build the architecture of the ship motion control system based on modification of the principles of building the model of the ship motion control system itself using new approaches to formalizing the processes of information collection and processing. This goal is achieved by analyzing the main options for building ship motion models (SMM), developing a methodology for its formation based on stored information about ship motion, synthesizing SMM using fuzzy logic and assessing the quality of their work, and building an agent-based model of ship motion control based on the developed SMM. The most significant result is the development of the structure of the agent system for processing the output data from the measuring complex and the mathematical description of this system by agents, environmental objects and events occurring in it. In addition, the elements of the system are interconnected by the reaction of the environment to the action or inaction of agents, which are considered as the laws of the system's functioning. The significance of the obtained results lies in the development of the methodology and structure of the system for forming a ship motion model, which is distinguished by the use of the results of measurements of the ship's states and its navigation conditions during regular voyages and the formation of a library on this basis. The peculiarity of the obtained results is the accumulation of data measured after the assessment of their novelty in a structured library and their periodic use for model refinement. The proposed structure of the model library and the source data base are similar in structure and contain two sections - ship states and navigation conditions, which directly affects the methodology for selecting the required model from the library. The difference from the known works lies in the structuring of navigation conditions based on the provisions of fuzzy set theory, which made it possible to select models that are most suitable for the current situation without using additional maneuvering to form them. To implement multi-agent systems operating in real time, it is proposed to develop a module for decision-making by an agent and to implement goal-setting functions during the implementation of decisions. The proposed approaches allow improving the quality of the formal description of the tasks to be solved, formalizing the processes of collecting and processing information about the ship's state and navigation conditions, and implementing the architecture of the ship's control system for different conditions.

**Keywords:** vessel, safe speed, motion control system, ship control system, formalisation, data collection and processing, ship motion model, methodology, fuzzy logic, fuzzy set theory, agent, agent system, multi-agent system, measuring complex, ship condition, ship navigation conditions, data library, real time, decision making.