


UDC 656.61.052.6:621.396.93

DOI: 10.31653/2306-5761.39.2026.84-98

VESSEL POSITION DETERMINATION USING AIS DATA FROM OTHER SHIPS UNDER SATELLITE NAVIGATION SIGNAL DISRUPTION**ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ СУДНА ЗА ДАНИМИ АІС ІНШИХ СУДЕН У РАЗІ ПОРУШЕННЯ ДОСТУПУ ДО СИГНАЛІВ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ****O. Shyshkin** , *D.Sc., professor*, **V. Konovets** , *Ph.D., Senior Research Officer*,**R. Kharchenko** , *Ph.D., associate professor***О.В. Шишкін**, *д.т.н., професор*, **В.І. Коновець**, *к.т.н., ст. наук. співробітник*,**Р.Ю. Харченко**, *к.т.н., доцент**National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine**Національний Університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

The article investigates a method for automatic determining the position of a vessel and the formation of sentences of the digital interface of navigation and radio communication devices according to the IEC 61162-1 (NMEA-0183) standard in conditions of degradation or complete loss of signals of global navigation satellite systems (GNSS). The proposed alternative approach is based on the combined use of Automatic Identification System (AIS) data received from the neighbouring vessels that are not in the GNSS impact zone and measurements from the ship's own radar/ARPA are available. Two mathematical models for position computation are examined: one utilizing range and bearing measurements (Range+Bearing) and another using range-only measurement via trilateration (Range only). Simulations were conducted in MATLAB using the Monte Carlo method, accounting for standard radar and AIS measurement errors as well as the asynchrony between their respective measurement cycles. It is established that synchronization of AIS and radar data through extrapolation of target coordinates is a fundamentally essential element of the algorithm, as it significantly reduces the root mean square error of vessel position determination. The Range+Bearing model demonstrates superior accuracy under most conditions; however, the Range only model may be preferable when bearing measurement quality is poor. The statistical distribution of position errors is well approximated by the Rician distribution. The results confirm the viability of the proposed approach as a reliable backup navigation method in conditions of electronic warfare conditions to counter jamming or spoofing cyber-attacks.

Keywords: Global Navigation Satellite Systems (GNSS), electronic warfare, digital interface, trilateration, coordinate extrapolation, data synchronization.



Copyright© 2026 the Author(s).

This is an open access article under the Creative Commons Attribution 4.0

International (CC BY 4.0) license.

Published by the *National University "Odesa Maritime Academy"*.**Date received:** 01-04-2026**Date accepted:** 05-05-2026**Date published (online):** 31-05-2026

Cite this article as: O. Shyshkin, V. Konovets, R. Kharchenko "Vessel position determination using AIS data from other ships under satellite navigation signal disruption," *Shipping & Navigation*, no. 39, pp. 84–98, 2026, doi: 10.31653/2306-5761.39.2026.84-98.

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена дослідженню методу автоматичного визначення координат власного судна і формування речень цифрового інтерфейсу приладів навігації і радіозв'язку за стандартом IEC 61162-1 (NMEA-0183) в умовах деградації або повної втрати сигналів глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС). Запропонований альтернативний підхід базується на сумісному використанні даних автоматичної ідентифікаційної системи (АІС) інших суден, які не потрапили в зону ураження ГНСС, та вимірювань власної суднової радіолокаційної станції (РЛС). Досліджено дві математичні моделі обчислення координат: з використанням вимірів дальності й пеленгу (Range+Bearing) та лише дальності методом трилатерації (Range only). Моделювання проводилось у середовищі MATLAB за методом Монте-Карло з урахуванням нормативних похибок РЛС та АІС, а також асинхронності їх вимірювань. Встановлено, що синхронізація даних АІС і РЛС шляхом екстраполяції координат цілей є принципово необхідним елементом алгоритму, оскільки забезпечує суттєве зменшення середньоквадратичної похибки визначення місця судна. Модель Range+Bearing демонструє вищу точність за більшістю умов, проте модель Range only може бути переважніша за низьких показників виміру пеленга. Статистичний розподіл похибок координат апроксимується законом Райса. Результати підтверджують перспективність запропонованого підходу як надійного резервного методу навігації в умовах радіоелектронної боротьби для протидії кібератакам «глушіння» (jamming) або «підміна» (spoofing).

Ключові слова: Глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС), радіоелектронна боротьба, цифровий інтерфейс, трилатерація, екстраполяція координат, синхронізація даних.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями

Сучасне морське судноплавство базується на відкритому доступі до сервісу глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), до переліку яких сьогодні належать системи глобального (GPS, ГЛОНАСС, Beidou, Galileo) та регіонального (QZSS, Японія та NAVIC, Індія) покриття. Використання диференційного режиму шляхом використання поправок, які можуть передаватися опорними береговими станціями по каналах наземного зв'язку у діапазоні 300 кГц та супутникового зв'язку через геостационарні супутники (WAAS, EGNOS, інші) для підвищення точності визначення координат. Судновий приймач ГНСС є основним постачальником географічних координат та точного часу (United Time Coordinated, UTC), необхідних для функціонування майже всіх бортових систем навігації та зв'язку. Залежність засобів навігації та зв'язку від працездатності приймача ГНСС робить його критично важливим для безпечного та ефективного судноплавства. В той же час приймач ГНСС є вразливим до навмисних втручань – кібератак – шляхом використання

засобів радіоелектронних боротьби (РЕБ) [1, 2]. Найбільш поширеними видами кібератак являються глушіння (jamming) та підміна (spoofing) супутникових сигналів.

В цих умовах одним з дієвих методів протидії кібератакам може бути використання альтернативного (back-up) способу автоматичного формування речень цифрового інтерфейсу, які замінюють речення не враженого глушінням приймача ГНСС. Таке рішення забезпечує працездатність усіх систем навігації і зв'язку, які є користувачами даних приймача ГНСС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Низка вітчизняних статей останніх років призначена розвитку способів та методів отримання координат у різних аспектах. У роботі Алексійчука та Мельника [3] розроблений спосіб визначення ефективних координат, що спостерігаються за пеленгам та дистанціям декількох орієнтирів в разі розподілу похибок вимірювання по нормальному закону.

У статті Бурмаки та Алексійчука [4] досліджені точності координат визначення місця судна, розрахованих за методом найменших квадратів, у разі наявності надлишкових ліній положення і визначення чинників, які впливають на точність.

Дослідження сценаріїв навігаційної обстановки в ситуації відмови GPS приймача на судні з метою визначення готовності судноводіїв до дій щодо забезпечення безпечної навігації проведені у роботі Пернікози, Піпченко та ін. [5].

В англомовній науковій літературі останніх років загальна проблематика об'єднання даних АІС і РЛС [6 – 17] може розглядатися у трьох напрямках:

- асоціація цілей та судових треків за даними АІС та РЛС,
- багатосенсорний супровід цілей, а також
- використання радарних спостережень для альтернативного позиціонування в ГНСС обмежених умовах навігації.

Найбільш розробленим є перший напрям. Під асоціацією цілей та треків розуміється співставлення цілей, які спостерігаються АІС та РЛС. Відсутність ідентифікації в морської радіолокації вимагає застосування складних алгоритмів, особливо в насиченому надводному просторі. В роботі Kazimierski, Stateczny [6] досліджуються методи асоціації АІС та РЛС треків за допомогою електронної картографічної навігаційної та інформаційної системи (ЕКНІС, ECDIS). запропоновано нейромережний підхід до асоціації трас морського радара та АІС в роботі Kazimierski [7]. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із використанням глибокого навчання, траєкторних ознак та графічних моделей, що досліджується в роботах Yang et al. [8], Jin et al. [9]. У цих публікаціях АІС і РЛС розглядаються насамперед як два комплементарні джерела інформації для побудови єдиної картини надводної обстановки, де ключовою проблемою є коректне зіставлення гетерогенних трас в умовах асинхронності, щільного трафіку та маневрування цілей.

Другий блок робіт присвячений супроводу цілей і підвищенню стійкості трекінгу за рахунок об'єднання АІС і радіолокаційних вимірювань. У роботі Liu et al. [10] розроблено метод об'єднання багатосенсорних даних на основі нечіткої логіки для виявлення й супроводу рухомих морських об'єктів. У роботі Miao et al. [11] АІС і радар поєднуються в схемі багатоцільового стеження, орієнтованій на автономне судноплавство. У Wang et al. [12] злиття АІС та РЛС X-band (3 см) діапазону застосовано для моніторингу морської акваторії та виявлення аномальної поведінки суден. Спільною рисою цих досліджень є те, що АІС і радар використовуються не для безпосереднього обчислення місцеположення власного судна, а для покращення виявлення, супроводу та інтерпретації руху зовнішніх об'єктів. Водночас саме ці роботи чітко показують, що асинхронність даних, різна точність сенсорів і тимчасові пропуски спостережень є фундаментальними факторами, які мають бути враховані й у задачах власного позиціонування.

Окремий інтерес для даного дослідження становлять роботи, пов'язані з радарним або радарно-орієнтованим позиціонуванням у разі недоступності ГНСС. У статті Naus et al. [13] оцінюється точність визначення координат судна за радіолокаційними відбитками від навігаційних орієнтирів, ідентифікованих на електронній карті. У роботі Hargreaves et al [14] запропоновано інноваційний підхід, розроблений у межах досліджень General Lighthouse Authorities (GLA), який дозволяє отримувати абсолютну позицію судна виключно за даними морського радара, без використання ГНСС, шляхом порівняння радарних зображень з картографічною інформацією та навігаційними об'єктами. Запропоновано алгоритми обробки радарних зображень, видалення артефактів та побудови оцінки позиції судна. Lazarowska [15] у дослідженні загальної проблеми запобігання зіткнень суден за рахунок вдосконалення радарного спостереження пропонує використання NMEA речень, які формуються засобом автоматичного радіо прокладання (ЗАРП, ARPA). J. Lei et al. [16] досліджують сумісне використання даних

АІС та РЛС на суднах у внутрішніх водних шляхах.

З погляду вашої тематики важливо підкреслити, що більшість виявлених праць не розглядають у явному вигляді схему отримання координат власного судна через використання АІС даних від інших суден з додаванням радарних вимірів відстань/пеленг у ситуаціях тимчасової відсутності координат власного судна. У сучасній літературі домінує постановка, де АІС і радар зливаються для асоціації, фільтрації та супроводу цілей [6]–[12], тоді як задача навігаційної власної локалізації за зовнішніми морськими об'єктами лише починає формуватися як окремий напрям [14, 16, 17]. Це дозволяє зробити наступні висновки. По-перше, визначення того факту, що презентована робота передбачає у кінцевому рахунку автоматичне формування речень цифрового інтерфейсу за стандартом ІЕС 61162-1 (NMEA-0183) для заміни речень штатного судового приймача ГНСС у разі його глушіння. По-друге, актуальність й новизна отриманих результатів переводить методологію АІС/РЛС об'єднання із задачі стеження за цілями у задачу забезпечення працездатності усього комплексу судового обладнання навігації та зв'язку в аномальних умовах деградації сигналів ГНСС.

Найближчою до постановки завдання статті є робота S.Sun et al. [17], де запропоновано само локалізацію власного судна у ГНСС обмеженої ситуації за вимірюваннями морського радара до об'єктів із відомими координатами; при цьому як радарні цілі розглядаються, зокрема, судна, що знаходяться на якірній стоянці, а координати яких надходять по каналах АІС. Саме ця робота демонструє безпосередній перехід від класичного АІС/РЛС злиття даних для супроводу цілей до задачі оцінювання координат власного судна за зовнішніми АІС цілями.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

У роботі досліджується можливість автоматичного визначення координат власного судна та формування речень цифрового

інтерфейсу за стандартом ІЕС 61162-1 (NMEA-0183) на основі спільного використання координат, інших кінематичних параметрів зовнішніх АІС цілей, результатів їхнього радіолокаційного спостереження в умовах деградації або втрати сигналів ГНСС. Вважається, що АІС цілі знаходяться поза зоною ураження та дані зовнішніх суден-цілей, які надходять по каналах АІС (координати, курс, швидкість), є доступними, а суднова радіолокаційна станція забезпечує вимірювання дальності та пеленга до цих самих цілей.

Задачами дослідження є:

- визначення точності координат власного судна для моделей використання різних даних радіолокаційного спостереження;
- оцінка ефективності врахування динаміки АІС цілей та інших факторів для підвищення точності автоматичного обчислення координат власного судна;

отримання статистичних характеристик розподілу імовірності оцінок координат.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Прийнята за основу методологія дослідження базується на використанні техніко-експлуатаційних характеристик АІС та морських РЛС, які визначені вимогами Міжнародної Конвенції SOLAS та нормативними документами ІМО, ІТУ [18 - 20]. Дослідження ґрунтуються на проведенні імітаційного комп'ютерного моделювання у середовищі MATLAB.

Для досягнення цілей, що заявлені, запропоновані наступні етапи:

1. Перетворення специфічних систем координат АІС цілей та РЛС в Декартову систему прямокутних координат.
2. Асоціація цілей АІС і РЛС.
3. Імовірнісне генерування вимірювань РЛС та даних АІС
4. Чисельна реалізація обчислення координат за методом найменших квадратів похибки координат власного судна.

5. Багатократне повторення симуляцій для отримання оцінки координат за методом Монте-Карло.

1. Загальна модель проведення дослідження

Загальна модель проведення дослідження пояснюється рис. 1 на прикладі трьох АІС цілей. Вважається, що АІС цілі є вільними від впливу засобів РЕБ, навпаки, наше судно потрапляє в зону глушіння або спуфінгу і втрачає доступ до координат від приймача ГНСС.

Комп'ютерна симуляція здійснюється шляхом реалізації потоку інформаційних передавань і вимірювань в системах АІС і РЛС впродовж епізодів тривалістю 120 секунд реального часу. На початку кожного епізоду симуляції вважаємо, що справжні координати власного судна достеменно відомі. Ця умова потрібна для обчислення кінцевої похибки обчислення координат у разі непрацездатності приймача ГНСС власного судна. Тому спершу обраховуються справжні відстані та пеленги для усіх АІС цілей на підставі відомих координат. Для цього використовується MATLAB функція `distance(pos1, pos2)` для виміру довжини ортодромії між двома точками `pos1, pos2` на поверхні земної сфери. Отримані відстані та пеленги штучно спотворюються таким чином щоби відтворити реально існуючі похибки судового радару.

Відповідно до нормативних документів точність визначання дальності цілі РЛС задається більшим значенням або в межах ± 30 метрів або 1% від обраної шкали дальності [19, 20].

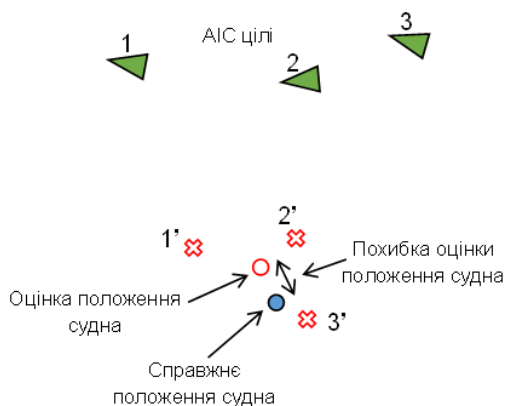


Рис 1. Пояснення до загальної моделі проведення досліджень

Наприклад, для 6-мильної шкали нормативне допустиме значення похибки складатиме приблизно ± 111 метрів. Тоді, якщо брати значення ± 30 метрів, то таку оцінку слід інтерпретувати як приблизний 95% довірчий інтервал, що відповідає стандартному відхиленню радарної помилки відстані e_r , приблизно $\sigma_r \approx 15$ м, тобто $|e_r| \leq 2\sigma_r$ з імовірністю 0,95. Для моделювання випадковості вимірювань помилка e_r додається до «ідеального» виміру дальності.

За такою же самою схемою здійснюється моделювання похибки пеленгу.

За рахунок об'єднання даних АІС та РЛС можуть бути обчислені оцінки (позначені червоними хрестиками на рис. 1 як 1' 2' 3') координат нашого судна окремо для кожної АІС цілі (відповідно за номерами 1, 2, 3). Інтегрована оцінка положення судна (червоний кружечок) має бути знайдено за методом найменших квадратів оцінок координат за усіма цілями. Похибка оцінки координат обчислюється як відстань між «ідеальним» та розрахованим положеннями судна.

Досліджувалися дві моделі отримання координат власного судна (наприклад, у разі непрацездатності приймача ГНСС через його глушіння) шляхом об'єднання даних АІС інших суден та даних радіолокаційного спостереження. При цьому вважається, що на АІС цілях приймачі ГНСС не втратили свою працездатність.

- використання вимірів дальності та пеленгу АІС цілей (Range + Bearing);
- використання тільки вимірів дальності АІС цілей та застосування методу трилатерації (Range only).

2. Перетворення координат

У морській практиці використовується Світова система координат WGS-84 (World Geodetic System). Широта (φ , Latitude) та довгота (λ , Longitude) задаються цілим числом градусів та хвилинами з десятковими цифрами. Полярні координати відстань до цілі (R , Range) та пеленг на ціль (θ , Bearing) характерні для застосування у РЛС/ЗАРП.

Істинний пеленг (α , азимут) вимірюється від напрямку на північ N ; відносний пеленг вимірюється від діаметральної площини (курсом за гірокомпасом) судна.

В умовах обмеження протяжності морської акваторії, що аналізуються, реальними відстанями радіолокаційного спостереження та ультракороткохвильового (УКХ) зв'язку по каналах АІС можна нехтувати кривизною поверхні Землі та проводити усі наступні обчислення в 2D вимірі Декартових (X, Y) координат. Будемо використовувати локальну акваторію з опорною точкою (φ_0, λ_0) . Тоді координати АІС цілей (x_i, y_i) в Декартовій системі виражаються наступним чином:

$$x_i = 60(\lambda_i - \lambda_0) \cos \varphi_0, \quad (1)$$

$$y_i = 60(\varphi_i - \varphi_0), \quad (2)$$

де широта і довгота (φ_i, λ_i) виражені в градусах, а результат (x_i, y_i) - у морських милях.

Радіолокаційні вимірювання відстані та азимуту (R_i, α_i) перетворюються для використання в Декартових координатах наступним чином:

$$\Delta x_i = R_i \sin \alpha_i, \quad (3)$$

$$\Delta y_i = R_i \cos \alpha_i, \quad (4)$$

де R_i - відстань до цілі в морських милях, α_i - азимут, що відраховується від півночі за годинниковою стрілкою.

3. Асоціація цілей АІС і РЛС

Під асоціацією цілей розуміється співставлення одних і тих самих цілей, отриманих від різних джерел – РЛС та АІС. Через відсутність прямої ідентифікації цілей у радарному спостереженні виникає необхідність надійної асоціації цілей за іншими доступними параметрами. Належна асоціація цілей, особливо у стиснених умовах багатьох цілей, є окремою проблемою [8, 9]. За умови нашої моделі вважається, що всі радарні цілі мають працездатні АІС транспондери і кількість АІС цілей знаходиться в межах $N = 1, \dots, 5$ та

збігається з кількістю радарних цілей в межах певної акваторії. За цих припущень асоціація цілей може бути за найпростішим варіантом реалізована шляхом співставлення відстаней у можливих парах суден.

4. Імовірнісне генерування вимірювань РЛС та АІС

В моделі, яка досліджується, враховуються наступні помилки:

- помилки обчислення координат АІС цілями, які приймаються за референтні точки,
- помилки радіолокаційного спостереження (відстань, пеленг) та
- помилки часової неузгодженості отримання вимірювань в АІС та РЛС.

У штатному режимі роботи координати в транспондер АІС потрапляють від зовнішнього приймача ГНСС. В повідомленнях, що передаються по каналах АІС, координати супроводжуються міткою часу (Time Stamp) та прапорцем точності координат (Position Accuracy, PA). Мітка часу показує секунду часу UTC, на яку сформовані координати. Прапорець точності координат вказує оцінку точності: висока точність, помилка ≤ 10 метрів (PA=1) або низка точність, помилка > 10 метрів (PA=0). Прапорець висока/низка точність свідчить про наявність/відсутність диференціального режиму роботи приймача ГНСС судна АІС цілі. Врахування стану прапорця PA впливає на вибір цілі з перевагою до використання АІС цілей з високою точністю координат у разі наявності альтернативи.

Імовірнісне генерування вимірювань РЛС спирається на використання нормального закону розподілу $e \sim N(0, \sigma^2)$ з нульовим середнім та дисперсією σ^2 . Ця похибка додається до «ідеального» виміру відстані та пеленгу. Якщо нормативне значення похибки виміру відстані складає ± 30 метрів або 1% від обраної шкали дальності (що більше) [19, 20], то величина середне - квадратичної похибки (СКП) обирається рівним $\sigma = \text{норматив}/2$.

Точність визначення пеленга має значення ± 1 . Тоді СКП за пеленгом складатиме значення $\sigma = 0,5^\circ$.

Особлива увага приділена асинхронності формування вимірювань радіолокаційного спостереження (відстань, пеленг) та АІС (координати, курс, швидкість, часова мітка) згідно параметрів обраної моделі формування помилок.

Однією з основних проблем сумісного використання АІС та радіолокаційних даних є їхня часова неузгодженість. Координати АІС цілей передаються у складі рапортів про координати (Position Report № 1, 2, 3). Інтервал передавання рапортів залежить від динаміки судна і складає для транспондерів класу А від 2-х секунд (судно рухається зі швидкістю більше 23 вузлів) до 3-х хвилин (судно на якорі або рухається не швидше ніж 3 вузли) [18].

Вимір відстані та пеленгу в РЛС прив'язаний до обертів антени. Антена РЛС робить приблизно 30 обертів впродовж одної хвилини часу. Тобто можна прийняти, що виміри відстані та пеленгу кожної цілі робляться кожні 2 секунди (один оберт антени за 2 секунди, $t_A = 2 \text{ sec}$). За умови середньої частоти випромінювання зондуючих імпульсів $f_i = 1 \text{ kHz}$ та ширини діаграми спрямованості антени $B_A = 2^\circ$ кожна ціль впродовж одного оберту відбиває послідовність (пачку) ехо-сигналів у кількості $n_{imp} = f_i B_A t_A / 360 \approx 10$ імпульсів. На основі обробки пачки ехо-сигналів, тобто первинної обробки, РЛС формує один вимір відстані та пеленгу цілі, якій далі передається у складі ІЕС 61162-1/NMEA-0183 речення протоколу обміну даними судового обладнання навігації та радіозв'язку [21].

З моменту втрати РЛС координат та корекції часу від приймача ГНСС вважаємо, що відлік часу t_{Radar} здійснюється за внутрішнім годинником інерційної навігаційної системи. Для об'єднання даних АІС та РЛС синхронізація відліків цих систем має відбуватися шляхом екстраполяції координат АІС цілей, які відомі

на i -ий відлік, через координати, курс (COG) та швидкість (SOG) у попередній $(i - 1)$ -ий відлік:

$$P_{AIS}(i) = P_{AIS}(i-1) + \Delta P_{AIS}(COG(i-1), SOG(i-1)) \quad (5)$$

В нашій моделі, що досліджується, врахування динаміки суден здійснюється наступним чином. Оскільки вимірювання відстані та пеленгу радаром є регулярними з інтервалом приблизно 2 секунди (з припущення, що антена радара здійснює 30 обертів за хвилину), координати АІС цілі апроксимуються на момент отримання радіолокаційного виміру відстані та пеленгу відповідної цілі за формулою (5). Екстраполяція координат АІС цілей в першому наближенні здійснюється врахуванням тільки та курсу АІС цілей без врахування параметрів другого порядку значимості – прискорення та зміну курсу.

Момент часу вказується у мітки часу ТТМ речення РЛС. Детальний аналіз інформаційних полів цього речення наведений нижче. При цьому роль таймеру, якій в АІС синхронізований за UTC, виконує годинник судової інерційної навігаційної системи.

Radar/ARPA формує речення стеження за цілями (Target Tracking Message, ТТМ) за стандартом ІЕС-61162 [21]. Приклад цього речення наведений нижче:

\$RATTM,01,4.83,37.6,T,12.4,221.3,T,0.62,14.5,N,T,123519.00,A*71

Кожне речення починається з роздільника у вигляді символів "\$" або "!". Роздільник "\$" позначає речення, що відповідають звичайним правилам параметричного та розділеного поля. Роздільник "!" позначає речення, що відповідають правилам інкапсуляції спеціального призначення та нерозділеного поля. Перше поле після роздільника визначає ідентифікатор передавача (talker – за термінологією протоколу обміну даними). Призначення усіх полів даних за наведеним прикладом зведені у Таблицю 1.

У разі аналізу повідомлень, що передаються по каналах АІС, важливо розрізняти два рівня. Перший рівень – це зовнішня оболонка

IEC-61162/NMEA-0183 у вигляді речення !AIVDM. Символ "!" означає інкапсуляцію даних, що потрапляють від первинного джерела АІС, ідентифікованого як АІ. Наступне позначення VDM вказує назву речення: AIS VHF data-link message [21].

Другий рівень – це внутрішнє інформаційне навантаження даними АІС, які передаються у складі регулярних рапортів про координати судна (Position report 1 – 3) для АІС класу А. [18]. Ці рапорти містять: ідентифікацію судна (MMSI), мітки часу за UTC, динамічні параметри судна, характеристики точності та надійності координат.

Варто підкреслити, що хоча транспондер АІС використовує власні координати у штатному

режимі роботи, відсутність фіксації координат через глушіння приймача ГНСС ніяким чином не впливає на прийом рапортів від інших суден. Працездатність транспондера на передавання також зберігається завдяки зовнішній непрямій (indirect) синхронізації від інших суден [18].

Таким чином, синхронізація вимірів АІС і РЛС/ЗАРП шляхом екстраполяції координат АІС цілей до найближчого моменту радіолокаційних вимірів відстані та пеленгу відповідних АІС цілей, має підвищити точність розрахунку власних координат.

5. Чисельна реалізація

Математично завдання чисельного обчислення моделей, що досліджуються, зводиться

Таблиця 1. Приклад складу речення стеження за цілями ТТМ

Значення поля	Пояснення
RA	Radar / ARPA talker identifier (ідентифікатор передавача)
TTM	Tracked Target Message (назва речення)
01	Tracked target number (номер цілі, яка супроводжується)
4.83	Distance from own ship to the tracked target = 4.83 NM. (відстань власне судно – ціль)
37.6	Bearing from own ship to target = 37.6° (пеленг власне судно – ціль)
T	T/R = True / Relative bearing (істинний / відносний пеленг)
12.4	Tracked target speed = 12.4 kn (швидкість цілі стеження)
221.3	Tracked target course = 221.3° (курс цілі стеження)
T	T/R = True / Relative course (істинний / відносний курс)
0.62	Predicted distance of closest-point-of-approach (CPA) = 0.62 NM (прогнозована відстань до найближчої точки зближення)
14.5	Predicted time to CPA = 14.5 min (прогнозований час до найближчої точки зближення)
N	N = nautical miles / knots. In some descriptions K may indicate kilometres (У деяких застосуваннях K може вказувати на кілометри)
, ,	Target label/name = blank (мітка/назва цілі = порожнє)
T	Target Status T = Tracking. Other standard values include: L = Lost; Q = Query / acquiring target (Стан цілі T = стеження. Інші стандартні значення включають: L = Втрачено; Q = запит / захоплення цілі)
, ,	(empty) – Reference Target Blank = not a reference target (порожньо) – опорна ціль Пусто = не є опорною ціллю
123519.00	123519.00 – UTC timestamp = 12:35:19.00 (мітка часу)
A	A = Automatic acquisition. Other values may include: M = Manual, R = Reported A = Автоматичне захоплення. Інші значення M = Вручну, R = Повідомлено
*71	*71 – Standard NMEA XOR checksum (перевірочна сума)

до рішення перевизначеної системи нелінійних рівнянь за методом найменших квадратів. Рівняння нев'язки для досліджуваних алгоритмів записуються наступним чином.

Модель використання тільки відстаней (Range only):

$$f_i(x, y) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - R_i. \quad (6)$$

Модель використання відстаней та пеленгів (Range + Bearing):

$$f_i(x, y) = \begin{cases} x - x_i + R_i \sin \alpha_i, \\ y - y_i + R_i \cos \alpha_i. \end{cases} \quad (7)$$

В рівняннях (6), (7) застосовані наступні позначення:

x, y - невідомі, що шукаються (координати судна);

x_i, y_i - координати АІС цілей;

R_i, α_i - відстань та азимут РЛС цілей;

$i = 1, \dots, N$ - номер АІС, РЛС цілі.

За методом найменших квадратів знаходиться мінімум квадрата Евклідової норми вектору нев'язок $f(x, y)$ для отриманих даних АІС та РЛС за наступною формулою:

$$\min_{x, y} \|f(x, y)\|_2^2 = \min_{x, y} (f_1(x, y)^2 + f_2(x, y)^2 + \dots + f_N(x, y)^2). \quad (8)$$

У MATLAB, Optimization Toolbox є спеціальна функція lsqnonlin, яка призначена для вирішення саме таких математичних задач.

Модель Range only по суті є алгоритмом трилатерації [22] – визначення координат точки шляхом вимірювання відстаней від трьох (або більше) фіксованих точок. З точки зору практичного судноводіння модель Range only не потребує ручних операцій для вимірювання пеленгу з метою підвищення точності. Підвищення точності виміру відстаней може бути досягнуте, наприклад, за рахунок розвитку та впровадження перспективних систем радіолокації, заснованих на використанні

поляризаційної селекції радіолокаційних сигналів [23].

6. Результати моделювання

Моделювання алгоритмів обчислення координат власного судна на основі використання методу Монте-Карло з багаточисельним повторенням двохвилинного епізоду

(у реальному часі) подій – вимірювань та передаванням даних АІС зовнішніх суден-цілей та власного радіолокаційного спостереження. В сценарних моделях використовувались власне судно та до 5-ти АІС

суден с координатами та параметрами як наведено у Таблиці 2.

Таблиця 2. Координати та параметри руху суден

№ АІС цілі	Широта, град.	Довгота, град.	Курс, град.	Швидкість, вузли
1	46.493	30.730	25	16
2	46.510	30.720	20	16
3	46.490	30.710	27	16
4	46.505	30.695	150	12
5	46.515	30.735	-50	8
Власне судно	46.500	30.720	90	16

Похибки вимірювань задавалися за нормальним законом розподілу ймовірностей з нульовим середнім та стандартними відхиленнями (σ) наступних величин:

- відстань до АІС цілі: 15 метрів;
- пеленг: $0,5^\circ$;
- координати АІС цілей (σ_{AIS}): 3.0/15 метрів;
- швидкість АІС цілей (SOG): 0.2 вузла;
- курс АІС цілей (COG): 1° .

Кількість епізодів у циклі стохастичного моделювання $N_{MC} = 100$.

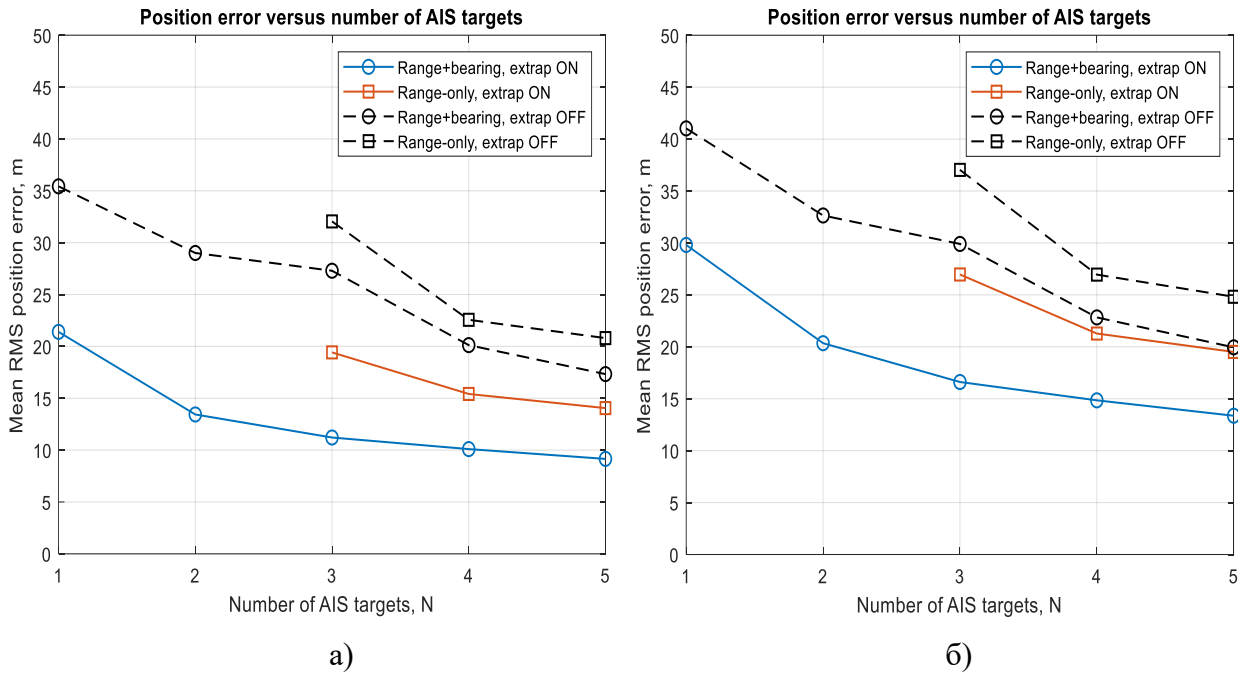


Рис 2. Залежності похибки координат від кількості AIS цілей для різних рівнів точності визначення координат на AIS цілях: а) $\sigma_{\text{AIS}} = 3 \text{ m}$; б) $\sigma_{\text{AIS}} = 15 \text{ m}$

Результати моделювання представлені у вигляді залежностей СКП координат (Mean RMS position error) від кількості AIS цілей N для моделей відстань + пеленг (Range+Bearing) та тільки відстань (Range only) за умови використання екстраполяції координат AIS цілей (extrap ON), або її відсутності (extrap OFF) на Рис. 2. Графіки а) і б) відрізняються припущеннями точності координат AIS цілей. Варіант обраний для СКП координат AIS цілей $\sigma_{\text{AIS}} = 3 \text{ m}$, більш притаманний для роботи приймача ГНСС у диференціальному режимі, підвищеної

точності на відміну варіанту б) $\sigma_{\text{AIS}} = 15 \text{ m}$ – для автономного режиму роботи приймача ГНСС без використання поправок.

Суцільними лініями представлені залежності у разі застосування режиму екстраполяції координат AIS цілей в процесі синхронізації вимірювань у системах AIS та РЛС. Пунктирними лініями показані графіки в умовах нехтування динамікою суден-цілей, тобто відсутності екстраполяції. В цьому випадку виміри у AIS, РЛС системах є неузгодженими за часом. Підвищення точності виміру

координат власного судна за рахунок екстраполяції досягає значень від 5-ти до 30-ти метрів.

Спостерігається очікуваний ефект покращення вимірів власних координат при збільшенні кількості опорних цілей для всіх режимів.

Показники точності для моделі відстань + пеленг (Range+Bearing) переважають за інших рівних умов показники у моделі використання тільки вимірів відстаней (Range only). Недоліком Range only моделі є також необхідність наявності щонайменш трьох AIS цілей.

Статистичні характеристики радіальної похибки оцінки координат $e_r = \sqrt{e_x^2 + e_y^2}$ вигляді гістограм на Рис. 3. Отримані гістограми добре апроксимуються графіком функції щільності ймовірності (Probability Density Function, PDF) за законом Райса у залежності від радіальної похибки (Radial error). Розподіл Райса є узагальненням розподілу Рейлі. У власному випадку розподілу випадкових величин e_x, e_y за нормальним законом з однаковими дисперсіями та нульовими середніми величина радіальної похибки e_r

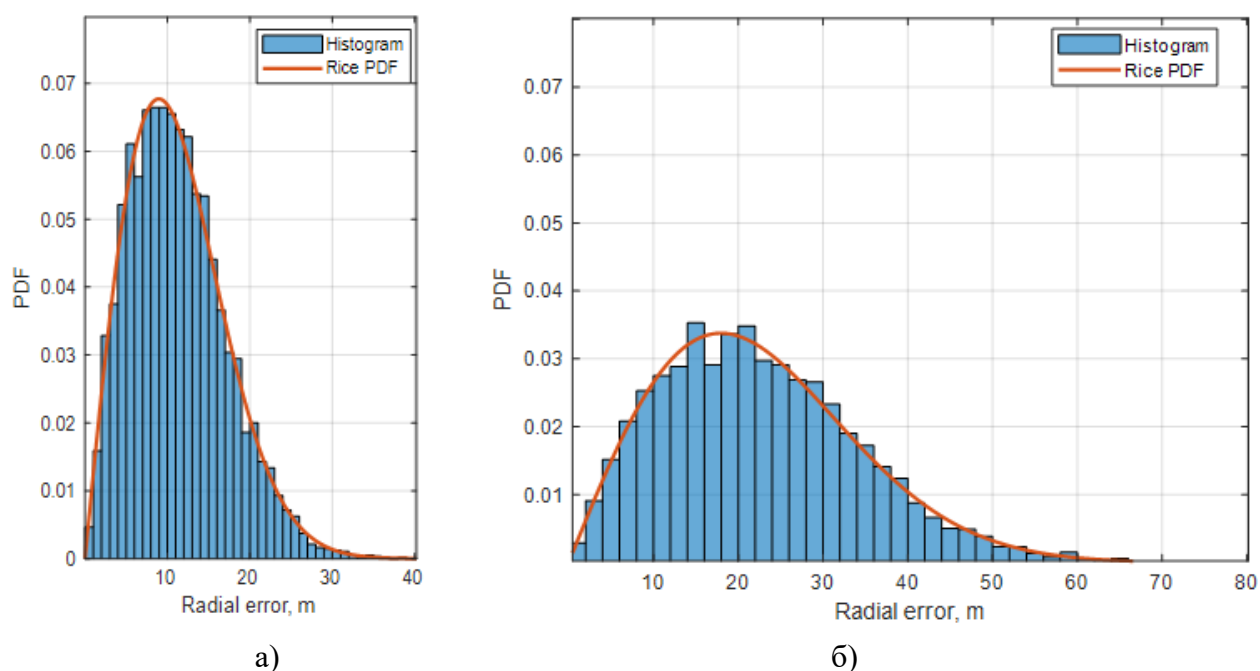


Рис 3. Гістограми залежності щільності імовірності (PDF) від радіальної похибки обчислення координат АІС цілей $N = 5$, модель відстань + пеленг для різних рівнів точності визначення координат на АІС цілях: а) $\sigma_{AIS} = 3 \text{ m}$; $\sigma_{AIS} = 15 \text{ m}$

підпорядковується закону Рейлі. Але для наших моделей у разі асинхронності отримання вимірів АІС і РЛС, тобто у варіанті відсутності екстраполяції координат за показниками АІС, може з'явитися систематична похибка для величин e_x, e_y , яка привласнює розподілам цих величин ненульові середні значення, у загальному випадку нерівними. Це і призводить до розподілу e_r за законом Райса.

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

За результатами дослідження двох моделей автоматичного визначення координат власного судна за допомогою сумісних АІС/РЛС вимірювань можна зробити наступні висновки.

1. Для типових помилок вимірів, які визначаються нормативними техніко-експлуатаційними вимогами, та застосованими у дослідженні сценаріях, перевага за точністю координат має модель обчислення Range+Bearing. Але така перевага не є абсолютною. За певних обставин (відстані до АІС цілей, показники

точності вимірів відстані та пеленгу) модель Range only може мати перевагу за точністю, наприклад, у разі низьких показників виміру пеленга.

З одного боку, використання разом з дальністю також кутової інформації з пеленгу формально збільшує обсяг вимірювальних даних і має покращувати визначеність задачі. З іншого боку, похибка радіолокаційного пеленга зазвичай істотно перевищує похибку вимірювання дальності. Тому включення пеленга в систему рівнянь не завжди гарантує підвищення точності розрахунку. Якщо часову асинхронність вимірів АІС і РЛС не компенсовано, то додаткова інформація по пеленгу також виявляється неузгодженою з координатами АІС цілей у спільному геометричному просторі. У такому випадку використання менш точного пеленга може або дати незначний вигравш, або взагалі не покращити результат порівняно з моделлю Range only.

2. Основний позитивний ефект з підвищення точності визначення координат дає синхронізація вимірів АІС і РЛС шляхом

екстраполяції координат АІС цілей. Поправки координат Δp можна вважати у першому наближенні пропорційними добутку швидкості v та «віку» Δt координат АІС цілі: $\Delta p \approx v \cdot \Delta t$.

Зазначене повністю узгоджується з результатами MATLAB-моделювання. Для статичних або квазістатичних умов виграш від екстраполяції є незначним, оскільки динамічна складова похибки мала. Натомість у разі руху АІС цілей приведення координат шляхом екстраполяції координат до спільного моменту часу приводить до суттєвого зменшення середньоквадратичної похибки визначення власного місцеположення. При цьому ступінь покращення зростає зі збільшенням швидкості цілей і тривалості часового неузгодження між АІС та радіолокаційними даними. Це дає усунення систематичних похибок у вимірах координат.

Таким чином, в режимі без екстраполяції має місце похибка першого порядку за часом, тоді як після екстраполяції домінуючим залишається значно менший фактор, обумовлений спрощенням моделі руху цілей.

Отже, проведене моделювання підтверджує теоретичне положення про те, що для задачі визначення координат власного судна за АІС координатами зовнішніх цілей та радіолокаційними вимірюваннями дальності і пеленга критично важливим є синхронізація всіх вхідних даних шляхом екстраполяції координат цілей. Саме врахування динаміки АІС цілей забезпечує істотне зменшення методичної похибки та підвищення точності розв'язання позиційної задачі. У цьому сенсі екстраполяція координат є не допоміжним, а принципово необхідним елементом алгоритму.

3. Через достатньо велику кількість параметрів, закладених в обчислювані моделі, включно геометрію розташування АІС цілей, існує широкий спектр напрямків практичної адаптації загальної моделі досліджень. Окремим напрямком подовження досліджень є підключення апаратних засобів та проведення натурних випробувань.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] IMO Resolution MSC-FAL.1/Circ.3/Rev.3. Guidelines on Maritime Cyber Risk Management. April 2025. <https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/MS-C-FAL.1-Circ.3-Rev.3.pdf>
- [2] Westbrook T., "Lethal empowerment and electronic crime: A focus on radio-frequency interference capabilities", *Security and Defence Quarterly*, 2025. DOI: 10.35467/sdq/196515
- [3] Алексейчук Б. М., Мельник О. М., "Визначення ефективних координат судна по пеленгам та дистанціям декількох орієнтирів", *Судноводіння*, № 38, С. 64 – 75, 2025. DOI: 10.31653/2306-5761.38.2025.64-75
- [4] Бурмака І. О., Алексейчук Б. М., "Точність координат визначення місця судна, розрахованих методом найменших квадратів, у разі надмірних вимірів", *Судноводіння*, Вип. 35, С. 10 – 21, 2023. DOI: 10.31653/2306-5761.35.2023.10-21
- [5] Перникоза В. В., Піпченко О. Д., Бурчак А. І., Казак Ю. В., "Моделювання інцидентів при підготовці та перевірці компетентності моряків: відмова системи GPS", *Судноводіння*, Вип. 31, С. 53 - 59, 2021. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.53-59
- [6] Kazimierski W. and Stateczny A., "Radar and Automatic Identification System Track Fusion in an Electronic Chart Display and Information System", *THE JOURNAL OF NAVIGATION*, N 68, 1141–1154, 2015. doi:10.1017/S037346331500040
- [7] Kazimierski W., "Proposal of neural approach to maritime radar and automatic identification system tracks association," *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 11, no. 5, pp. 729–735, 2017. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2016.0409>
- [8] Yang Y., Yang F., Sun L., Xiang T., and Lv P., "Multi-target association algorithm of AIS-radar tracks using graph matching-

- based deep neural network,” *Ocean Engineering*, vol. 266, Art. no. 112208, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112208>
- [9] Jin B., Tang Y., Zhang Z., Lian Z., and Wang B., “Radar and AIS Track Association Integrated Track and Scene Features through Deep Learning,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, pp. 8001–8009, 2023. DOI:10.1109/JSEN.2023.3245647
- [10] Liu W., Liu Y., Gunawan B. A., and Bucknall R., “Practical Moving Target Detection in Maritime Environments Using Fuzzy Multi-sensor Data Fusion,” *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 23, pp. 1860–1878, 2021.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40815-020-00963-1>
- [11] T. Miao, E. El Amam, P. Slaets, and D. Pissort, “Multi-Target Tracking and Detection, fusing RADAR and AIS Signals using Poisson Multi-Bernoulli Mixture Tracking, in support of Autonomous Sailing,” *Proc. International Naval Engineering Conference & Exhibition (INEC)*, 2020.
<https://zenodo.org/records/4498560>
- [12] Wang C. M., Li Y., Min L., et al., “Intelligent marine area supervision based on AIS and radar fusion,” *Ocean Engineering*, vol. 285(4), Art. no. 115373, 2023. DOI:10.1016/j.oceaneng.2023.115373
- [13] Naus K., Wąż M., Szymak P., Gucma L., and Gucma M., “Assessment of ship position estimation accuracy based on radar navigation mark echoes identified in an Electronic Navigational Chart,” *Measurement*, vol. 169(6), Art. no. 108630, 2020. DOI:10.1016/j.measurement.2020.108630
- [14] Hargreaves C., Grant A., and Hyde L., “Radar Absolute Positioning,” *Engineering Proceedings*, vol. 54, no. 1, 2023.
<https://doi.org/10.3390/ENC2023-15419>
- [15] Lazarowska A., “Review of Collision Avoidance and Path Planning Methods for Ships Utilizing Radar Remote Sensing”, *Remote Sens.*, 13, 3265, 2021.
<https://doi.org/10.3390/rs13163265>
- [16] Lei J., Sun Y., Wu Y., Zheng F., He W., and Liu X., “Association of AIS and Radar Data in Intelligent Navigation in Inland Waterways Based on Trajectory Characteristics,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 12, no. 6, Art. no. 890, 2024. <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/6/890>
- [17] Sun S., Lyu H., Yang X., and Yang Y., “Utilizing radar landmarks for self-localization in GNSS-restricted marine environments,” *Expanding Navigation Application and Empowering the Future of Humanity*, pp. 126–132, 2025. DOI:10.1201/9781003624424-14
- [18] Recommendation ITU-R M.1371–5 (2014) Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band.
<https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1371>
- [19] IMO Resolution MSC.192(79) Adoption of the revised performance standards for radar equipment, 2004.
- [20] IEC 62388 INTERNATIONAL STANDARD Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Shipborne radar – Performance requirements, methods of testing and required test results, 2007
- [21] IEC 61162-1 INTERNATIONAL STANDARD, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Digital interfaces – Part 1: Single talker and multiple listeners, Edition 6.0, 2024.
- [22] Shyshkin O. V., Konovets V. I., Koshchy V.M., “AIS R-Mode Trilateration for GPS Positioning and Timing Insurance”, *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 18, Num. 2, June 2024, pp. 369 – 374. DOI:10.12716/1001.18.02.13 ISSN:2083-6473

[23] Korban D., Melnyk O., Onishchenko O., Kurdiuk S., Shevchenko V., Obniavko T., “Radar based detection and recognition methodology of autonomous surface vehicles in challenging marine environment”, *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 122, 111 – 127, 2024. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.7>

REFERENCES

- [1] IMO Resolution MSC-FAL.1/Circ.3/Rev.3. Guidelines on Maritime Cyber Risk Management. April 2025. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/MSC-FAL.1-Circ.3-Rev.3.pdf>
- [2] Westbrook T., “Lethal empowerment and electronic crime: A focus on radio-frequency interference capabilities”, *Security and Defence Quarterly*, 2025. DOI: 10.35467/sdq/196515
- [3] Aliexsieichuk B. M., Melnyk O. M., “Vyznachennia efektyvnykh koordynat sudna po pelenh^а ta dystantsiiam dekil-kokh oriientyriv”, *Sudnovodinnia*, № 38, S. 64 – 75, 2025. DOI: 10.31653/2306-5761.38.2025.64-75
- [4] Burmaka I. O., Aliexsieichuk B.M., “Tochnist koordynat vyznachennia mistsia sudna, rozrakovanykh metodom naimenshykh kvadrativ, u razi nadmirnykh vymiriv”, *Sudnovodinnia*, Vyp. 35, S. 10 – 21, 2023. DOI: 10.31653/2306-5761.35.2023.10-21
- [5] Pernykoza V. V., Pipchenko O. D., Burchak A. I., Kazak Yu. V., “Modelivannia intsydentiv pry pidhotovtsi ta perevirtsi kompetentnosti moriakiv: vid-mova systemy GPS”, *Sudnovodinnia*, Vyp. 31, S. 53 – 59, 2021. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.53-59
- [6] Kazimierski W. and Stateczny A., “Radar and Automatic Identification System Track Fusion in an Electronic Chart Display and Information System”, *THE JOURNAL OF*

NAVIGATION, N 68, 1141–1154, 2015. doi:10.1017/S037346331500040.

- [7] Kazimierski W., “Proposal of neural approach to maritime radar and automatic identification system tracks association,” *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 11, no. 5, pp. 729–735, 2017. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2016.0409>
- [8] Yang Y., Yang F., Sun L., Xiang T., and Lv P., “Multi-target association algorithm of AIS-radar tracks using graph matching-based deep neural network,” *Ocean Engineering*, vol. 266, Art. no. 112208, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112208>
- [9] Jin B., Tang Y., Zhang Z., Lian Z., and Wang B., “Radar and AIS Track Association Integrated Track and Scene Features through Deep Learning,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, pp. 8001–8009, 2023. DOI:10.1109/JSEN.2023.3245647
- [10] Liu W., Liu Y., Gunawan B. A., and Bucknall R., “Practical Moving Target Detection in Maritime Environments Using Fuzzy Multi-sensor Data Fusion,” *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 23, pp. 1860–1878, 2021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40815-020-00963-1>
- [11] Miao T., E. El Amam, Slaets P., and Pissort D., “Multi-Target Tracking and Detection, fusing RADAR and AIS Signals using Poisson Multi-Bernoulli Mixture Tracking, in support of Autonomous Sailing,” *Proc. International Naval Engineering Conference & Exhibition (INEC)*, 2020. <https://zenodo.org/records/4498560>
- [12] Wang C. M., Li Y., Min L., et al., “Intelligent marine area supervision based on AIS and radar fusion,” *Ocean Engineering*, vol. 285(4), Art. no. 115373, 2023. DOI:10.1016/j.oceaneng.2023.115373
- [13] Naus K., Wąż M., Szymak P., Gucma L., and Gucma M., “Assessment of ship position estimation accuracy based on radar

- navigation mark echoes identified in an Electronic Navigational Chart,” *Measurement*, vol. 169(6), Art. no. 108630, 2020. DOI:10.1016/j.measurement.2020.108630
- [14] Hargreaves C., Grant A., and Hyde L., “Radar Absolute Positioning,” *Engineering Proceedings*, vol. 54, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.3390/ENC2023-15419>
- [15] Lazarowska A., “Review of Collision Avoidance and Path Planning Methods for Ships Utilizing Radar Remote Sensing”, *Remote Sens.*, 13, 3265, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13163265>
- [16] Lei J., Sun Y., Wu Y., Zheng F., He W., and Liu X., “Association of AIS and Radar Data in Intelligent Navigation in Inland Waterways Based on Trajectory Characteristics,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 12, no. 6, Art. no. 890, 2024. <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/6/890>
- [17] Sun S., Lyu H., Yang X., and Yang Y., “Utilizing radar landmarks for self-localization in GNSS-restricted marine environments,” *Expanding Navigation Application and Empowering the Future of Humanity*, pp. 126–132, 2025. DOI: 10.1201/9781003624424-14
- [18] Recommendation ITU-R M.1371–5 (2014) Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band. <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1371>
- [19] IMO Resolution MSC.192(79) Adoption of the revised performance standards for radar equipment, 2004.
- [20] IEC 62388 INTERNATIONAL STANDARD Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Shipborne radar – Performance requirements, methods of testing and required test results, 2007
- [21] IEC 61162-1 INTERNATIONAL STANDARD, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Digital interfaces – Part 1: Single talker and multiple listeners, Edition 6.0, 2024.
- [22] Shyshkin O. V., Konovets V. I., Koshchey V. M., “AIS R-Mode Trilateration for GPS Positioning and Timing Insurance”, *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Vol. 18, Num. 2, June 2024, pp. 369 – 374. DOI: 10.12716/1001.18.02.13 ISSN:2083-6473
- [23] Korban D., Melnyk O., Onishchenko O., Kurdiuk S., Shevchenko V., Obniavko T., “Radar based detection and recognition methodology of autonomous surface vehicles in challenging marine environment”, *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 122, 111 – 127, 2024. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.7>