

ПРОСТОРОВА ІНТЕГРАЦІЯ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ СЛУЖБ РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ СУДЕН

Вступ

Створення регіональних об'єднань постів служб регулювання руху суден (СРРС) є однієї з головних світових тенденцій їх розвитку [1 – 4]. Поява регіональних СРРС означає інтенсифікацію обміну даними та координацію управлінських рішень між суміжними постами регіону. В умовах зростання щільності потоків суден це зменшує дефіцит часу, а отже створює передумови для поліпшення якості управлінських рішень, що їх ухвалюють оператори постів служби [5 – 8].

Важливу роль в ухваленні відповідних управлінських рішень відіграють автоматизовані радіотехнічні системи (АРТС) інформаційної підтримки СРРС [7], одним з головних складників яких є підсистеми навігаційного спостереження за рухом суден.

З огляду на зазначену світову тенденцію, актуальним стає один з напрямків удосконалювання навігаційного складника АРТС як джерела об'єктивних даних про стан судноплавної обстановки. Йдеться про можливості використання ефектів емерджентності, які можуть об'єктивно виникати у разі комплексного використання навігаційної інформації, що здобута та оброблена низкою постів регіону.

Об'єктивні передумови для реалізації цього напрямку вже є, оскільки більшість національних СРРС спирається на технічний та інформаційний ресурс постів, що дислоковані уздовж морського узбережжя. Місця дислокації постів зазвичай визначено виходячи з певних вимог [1], серед яких однією з головних є забезпечення безперервності навігаційного спостереження суден та їх ідентифікації в межах регіону. Тому навігаційні системи, які встановлено на тих постах, здебільшого мають робочі зони, що частково перетинають одна іншу.

Окрім того, створення регіональних систем СРРС побіжно створило й достатні технічні передумови для реалізації кроків у напрямку інтеграції обробки даних АРТС інформаційної підтримки СРРС. Насамперед, це створення потужних регіональних і навіть міжрегіональних обчислювальних мереж обміну даними, які утворюють просторово-розподілену мережу, у вузлах якої розташовано пости СРРС. Це надає реальні технічні можливості для інтегральної обробки навігаційних даних, що здобуті окремими постами служби.

Потенційні можливості інтеграції навігаційних даних

Реалізація міжпостової інтегральної, або як її ще називають – мультирадарної обробки даних (МРОД), потенційно дозволяє поліпшити точність оцінок траєкторних параметрів просто за рахунок збільшення обсягу незалежної вихідної інформації, що стає доступною в межах регіону.

Щоб підтвердити цю тезу для початку розглянемо можливості МРОД у частині поліпшення точності оцінок бічного відхилення L_s судна від поздовжньої осі фарватеру. Цей параметр ми обрали не випадково, оскільки під час лоцманського проведення суден у прибережних вузькостях і морських каналах істотно практичне значення має не стільки інформація про власне координати судна, скільки дані про зазначене відхилення та його тенденції.

Нескладно показати, що оцінку бічного відхилення судна L_s можна представити як

$$L_s = \begin{cases} \frac{[(x_{sh} - X_{beg}) \operatorname{tg}(\varphi) - (y_{sh} - Y_{beg})] \cos(\varphi)}{\operatorname{sign}[(X_{beg} - X_{post}) \operatorname{tg}(\varphi) - (Y_{beg} - Y_{post})]}, & \text{для } X_{beg} \neq X_{end}, \\ |x_{sh} - X_{end}| \operatorname{sign}(Y_{beg} - Y_{end}), & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (1)$$

де (x_{sh}, y_{sh}) – поточні прямокутні геодезичні координати судна; $(X_{beg}, Y_{beg}), (X_{end}, Y_{end})$ – прямокутні геодезичні координати відповідно початку та кінця вектора найближчого до судна відтинку фарватеру; φ – кут нахилу зазначеного вектора відтинку фарватеру до осі абсцис; $sign(*)$ – операція визначення знаку виразу в дужках, що однозначно характеризує напрямок відхилення судна від поздовжньої осі фарватеру.

Зауважимо, що знак оцінки (1) однозначно характеризує напрямок бічного відхилення судна від поздовжньої осі фарватеру.

Середньоквадратичну похибку оцінки відхилення судна від поздовжньої осі фарватеру можна визначити [9, 10] методом частинного диференціювання (1) як

$$\sigma_s = \begin{cases} (\sigma_x \cdot |tg(\varphi)| + \sigma_y) \cdot |\cos(\varphi)|, & \text{для } X_{beg} \neq X_{end}, \\ \sigma_x, & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (2)$$

де

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_j \cdot |\cos(\beta_{sh})| + j_{sh} \cdot |\sin(\beta_{sh})| \cdot \sigma_\beta, \\ \sigma_y &= \sigma_j \cdot |\sin(\beta_{sh})| + j_{sh} \cdot |\cos(\beta_{sh})| \cdot \sigma_\beta, \end{aligned} \quad (3)$$

j_{sh}, β_{sh} – полярні навігаційні координати відповідно дальності та азимута судна відносно радіонавігаційної системи (РНС); σ_j, σ_β – середньоквадратичні похибки визначення полярних координат судна, що фактично характеризують точність парціального каналу траєкторної обробки (ТО).

Враховуючи (3), вираз (2) можна шляхом нескладних математичних перетворень представити у вигляді

$$\sigma_s = \sigma_j \cdot |\sin(\mathcal{G})| + \sigma_\beta \cdot j \cdot |\cos(\mathcal{G})|, \quad (4)$$

де \mathcal{G} – ракурс спостереження судна РНС, що, в умовах прибережних вузькостей і морських каналів, еквівалентний ракурсу спостереження фарватеру.

Якщо для (4) розглянути лише важливі крайнощі, а саме: лінія візування РНС спрямована вздовж фарватеру ($\mathcal{G} = 0^\circ$) та впоперек нього ($\mathcal{G} = 90^\circ$), то побачимо, що у першому випадку похибку σ_s визначає лише похибка оцінки азимута

$$\sigma_s(\mathcal{G} = 0^\circ) = j_{sh} \cdot \sigma_\beta, \quad (5)$$

а у другому – лише похибка визначення відстані до судна

$$\sigma_s(\mathcal{G} = 90^\circ) = \sigma_j. \quad (6)$$

Отже, у зазначених крайнощах загальну похибку оцінки L_s представляє лише один із двох складників (4).

Прирівнявши (5) і (6) та зважаючи на те, що похибки σ_j і σ_β в (4) пропорційні типовим значенням розрізнявальної здатності морських навігаційних РНС відповідними координатами [11] (згідно з [1], це ~ 15 м та $\sim 0.45^\circ$), нескладно визначити, що на відстанях понад одну миль похибка (5) завжди є більшою, ніж похибка (6). Для СРРС це відповідає переважній більшості практично значимих випадків.

Із цього випливає, що для зменшення похибок L_s варто прагнути до збільшення кута між напрямком просторової орієнтації фарватеру та лінією візування РНС, у ідеалі наближуючи його до 90° . Оскільки напрямок фарватеру зазвичай не обирають, то залишається лише шлях раціонального вибору місця дислокації РНС. При цьому зрозуміло, що зазначену вище умову можна задовольнити лише для обмеженого сектора робочої зони РНС.

І от тут актуальної стає МРОД. Оскільки в умовах сучасних СРРС одне й те саме судно здебільшого спостерігають декілька РНС суміжних постів і, що важливо, під різними ракурсами відносно поздовжньої осі фарватеру. Уже цього факту достатньо для впровадження ін-

тегральної обробки навігаційних даних, наприклад шляхом банального відбору для подальшого використання точніших оцінок L_s .

Аналогічно можна довести, що МРОД потенційно дозволяє поліпшити характеристики точності й інших траєкторних параметрів. Зокрема, з (5) та (6) випливає, що лінійна похибка визначення координат судна в напрямку нормалі до лінії візування РНС прямо пропорційна дальності. При цьому така ж похибка вздовж лінії візування РНС залежить лише від σ_j , яка, у свою чергу, в умовах великих енергетичних співвідношень сигнал/завада (через вимоги [1]) практично не залежить від дальності [12, 13]. Тому, застосовуючи МРОД, потенційно можливо в такий же спосіб поліпшити точність оцінок і власне координат суден.

Концептуальні особливості реалізації МРОД

Аналіз спеціальної літератури, наприклад [14 –17], показує, що саму по собі МРОД доволі давно застосовують в окремих навігаційних засобах, хоча це й не є поширеним явищем.

З наявних публікацій випливає, що наразі відомі принаймні два альтернативні методологічні підходи до практичної реалізації МРОД.

Сутність першого з них полягає у виконанні єдиної траєкторної обробки сукупності відмітин об'єктів спостереження, що здобуті суміжними РНС на відносно короткому відтинку часу й одразу представлені єдиним (спільним) масивом даних. Цю концепцію можна умовно назвати "загальним кошиком відмітин".

Сутність альтернативного підходу полягає в тому, що кожний з масивів навігаційних відмітин, який надійшов від кожної з суміжних РНС, спочатку піддають незалежній (парціальній) ТО, а вже потім результати поєднують для тих траєкторій, що їх водночас відстежують декілька парціальних ТО. Такий методологічний підхід можна умовно назвати концепцією "парціальних ТО".

В [15] здійснено спробу обґрунтувати переваги першого з цих двох підходів. Для цього представлено результати математичного моделювання, що вказують на позитивні моменти, які можуть одержати користувачі від застосування такого підходу. Головні з них, на думку авторів, полягають у певній економії обчислювального ресурсу.

Наш досвід зі створення реально діючих трактів МРОД дозволяє стверджувати, що у разі впровадження концепції "загального кошика відмітин", одержані переваги не можуть компенсувати навіть частини тих недоліків, що властиві такому підходові. Переважна частина цих недоліків зумовлена потребою істотно ускладнювати алгоритм МРОД, щоб хоча б якось чином компенсувати обмеженість бази вихідних даних для такої обробки.

І дійсно, коли спільний масив вихідних навігаційних даних містить лише відмітини, що надійшли від різних РНС у різні моменти часу, темп огляду простору яких у загальному випадку є асинхронним, а самі відмітини описано лише їх координатами, то швидко стає зрозумілим, що цього явно недостатньо, щоб на тлі пасивних завад більш-менш упевнено ідентифікувати між собою відмітини, здобуті різними РНС від одного й того ж об'єкта спостереження. Невпевнена ідентифікація відмітин за такого підходу є причиною підвищеного рівня хибних тривог. Застосування ж додаткових заходів з метою уникнути цього негативного явища на практиці обертається істотними додатковими витратами обчислювального ресурсу. Тому прогнозована авторами [15] економія, на наш погляд, є примарною.

Зазначених недоліків позбавлений другий з названих концептуальних підходів до мультирадарної обробки даних. Об'єктивною передумовою для такого твердження є більша інформативна база для інтегральної обробки навігаційних даних, що надійшли з виходів різних парціальних ТО.

І дійсно, у разі застосування концепції "парціальних ТО" в якості вихідних даних для пошуку об'єкта, який одночасно спостерігають декілька РНС, вже виступають вектори траєкторних параметрів, що, окрім властивих відмітинам даних про координати, додатково містять ще й інформацію як мінімум про курс та швидкість руху об'єкта.

Варто зважати також і на те, що інформативна база, яку використовують для об'єднання навігаційних даних за другим концептуальним підходом переважає не лише кількісно, але й

якісно. Адже вихідні дані МРОД – це траєкторні параметри, що одержані парціальними ТО шляхом раціональної фільтрації координат відмітин на певних інтервалах часу. Тобто вихідними даними для МРОД є вже не миттєві, а осереднені оцінки координат і параметрів руху.

З огляду на викладене, для практичної реалізації мультирадарної обробки даних навігаційного спостереження суден у задачах СРРС має сенс обирати концепцію "парціальних ТО".

Структурна схема МРОД навігаційних систем

Описана нижче структура МРОД є одним із експериментально досліджених варіантів, що покладені в основу реально діючої АРТС.

Отже первинні навігаційні дані схеми радіоканалами надходять від РНС різних постів регулювання руху суден до відповідної схеми МРОД, яку також реалізують на кожному з постів СРРС. Для цього на кожному посту створюють власний список парціальних ТО, підключаючи їх до тих РНС, інформація яких є корисною для розв'язання задач поста.

Обмін даними всередині поста здійснюють за допомогою локальної обчислювальної мережі.

Далі автоматизовані робочі місця (АРМ) схеми МРОД, здійснюють інтеграцію навігаційних даних, що надходять від обраних операторами парціальних каналів ТО, а потім відображають їх на екранах графічного інтерактивного інтерфейсу користувача.

Методологічно схема МРОД виконує чотири основних процедури:

- приймання траєкторних даних від обраних оператором парціальних ТО;
- синхронізацію цих даних у часі;
- визначення спільних траєкторій, тобто траєкторій того самого судна, що його відстежують різні парціальні канали ТО;
- об'єднання параметрів спільних траєкторій.

Першу з цих процедур реалізовано тривіально стандартизованими методами передачі даних обчислювальною мережею й тому далі не обговорюємо.

Друга процедура розв'язує задачі часової синхронізації даних, що надійшли від різних РНС регіону, які, як вже зазначалося вище, функціонують незалежно та асинхронно. Для цього локальні траєкторні дані кожного з парціальних каналів ТО спочатку мають бути приведені до єдиного фіксованого моменту часу всередині кожного з каналів ТО, а вже потім синхронізовані між каналами. Така синхронізація у два кроки зумовлена доволі повільним оглядом простору навігаційними системами постів СРРС (3÷4 с) внаслідок чого навіть усередині однієї парціальної ТО траєкторії суден, які перебувають на різних азимутах, мають істотну різницю часових прив'язок.

Приведення (синхронізацію) даних у часі можна здійснити методами екстраполяції або інтерполяції. Щоб не віддаляти моменти фактичного одержання та подання траєкторних даних користувачеві, ми обрали метод екстраполяції їх значень на останній за часом момент одержання відповідних даних. Для кожної з парціальних ТО таким моментом, вочевидь, є момент завершення сканування робочої зони його навігаційним вимірювачем, а для загальної синхронізації даних – найближчий до поточного часу момент завершення сканування робочої зони в одному із задіяних парціальних каналів ТО.

Оскільки в кожному із цих випадків інтервал екстраполяції не перевищує періоду огляду простору типовою навігаційною системою (3–4 с), то було доцільно зупинитися на найпростішому методі лінійної екстраполяції.

Зважаючи на це, інтервал першого кроку екстраполяції траєкторних даних усередині i -го парціального каналу ТО можна представити як

$$\Delta t_i^{par} = \left[\left(\left| \beta_{sh}(i, k) - \beta_{Last}(i) \right| \right) / 2\pi \right] \cdot t_{scan}(i), \quad (7)$$

де $t_{scan}(i)$ – період сканування простору РНС i -го парціального каналу; $\beta_{sh}(i, k)$ – поточна координата азимута k -ї траєкторії, яку обробляють; $\beta_{Last}(i)$ – завершальний (крайній) азимут робочої зони i -ї парціальної РНС.

Відповідно, інтервал екстраполяції траєкторних даних на другому кроці синхронізації вже парціальних каналів, кожний з яких має наведену мітку часу для власних даних t_i^{TO} , що відповідає азимуту $\beta_{Last}(i)$, можна представити, як

$$\Delta t_i^{MR} = \left[\max_{i \in 0:(N_{par}-1)} (t_i^{TO}) \right] - t_i^{TO}, \quad (8)$$

де N_{par} – кількість парціальних каналів, що задіяні схемою МРОД.

Екстраполяцію основних траєкторних параметрів – прямокутних координат судна, на кожному із двох зазначених вище кроків виконуємо за однаковим алгоритмом

$$\begin{aligned} x_{sh}^* &= x_{sh} + V_{sh} \cdot \Delta t \cdot \cos(C_{sh}), \\ y_{sh}^* &= y_{sh} + V_{sh} \cdot \Delta t \cdot \sin(C_{sh}), \end{aligned} \quad (9)$$

де $\Delta t \in (\Delta t_i^{par}, \Delta t_i^{MR})$ – інтервал екстраполяції, що, залежно від кроку, визначаємо як (7) або (8); V_{sh} , C_{sh} – поточні оцінки швидкості та курсу судна, що їх можна визначити за формулами

$$V_{sh} = \left(\sqrt{u_x^2 + u_y^2} \right) / \tau_{scan}, \quad (10)$$

$$C_{sh} = \arctg(u_y / u_x), \quad (11)$$

де τ_{scan} – період кругового огляду (сканування) робочої зони навігаційної системи; u_x , u_y – перші похідні в часі прямокутних координат x_{sh} , y_{sh} судна.

Процедура синхронізації даних, вочевидь, викликає зростання похибки оцінок відповідних координат у парціальних каналах, яку можна визначити, застосувавши до (9) метод частинного диференціювання. У результаті одержимо

$$\begin{aligned} \sigma_x^* &= \sigma_x + [|\sigma_v \cdot \Delta t \cdot \cos(C_{sh})| + |\sigma_c \cdot V_{sh} \cdot \Delta t \cdot \sin(C_{sh})| + |\sigma_{\Delta t} \cdot V_{sh} \cdot \cos(C_{sh})|], \\ \sigma_y^* &= \sigma_y + [|\sigma_v \cdot \Delta t \cdot \sin(C_{sh})| + |\sigma_c \cdot V_{sh} \cdot \Delta t \cdot \cos(C_{sh})| + |\sigma_{\Delta t} \cdot V_{sh} \cdot \sin(C_{sh})|], \end{aligned} \quad (12)$$

де σ_x , σ_y – середньоквадратичні похибки координат судна, визначені (3); $\sigma_{\Delta t}$ – інструментальна середньоквадратична похибка оцінки інтервалу екстраполяції траєкторних даних, зумовлена точністю часової синхронізації даних усередині конкретної АРТС (~0.1 с).

σ_v , σ_c – поточні середньоквадратичні похибки оцінок швидкості та курсу судна, які можна, зважаючи на (10) та (11), визначити методом частинного диференціювання у вигляді

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \left(|u_x| \cdot \sigma_{u_x} + |u_y| \cdot \sigma_{u_y} \right) / (V_{sh} \cdot \tau_{scan}), \\ \sigma_c &= \left(|u_x| \cdot \sigma_{u_y} + |u_y| \cdot \sigma_{u_x} \right) / (V_{sh} \cdot \tau_{scan})^2, \end{aligned} \quad (13)$$

де σ_{u_x} , σ_{u_y} – середньоквадратичні похибки оцінок перших похідних координат у часі u_x , u_y відповідно.

У (12) наведені в квадратних дужках доданки фактично й є додатковою похибкою оцінки парціальних координат, що зумовлена примусовою часовою синхронізацією даних парціальних каналів. На це слід зважати під час інтегральної обробки навігаційних даних, пам'ятаючи, що формулу (9) застосовуємо двічі: спочатку для синхронізації даних усередині парціальних каналів, а потім – для синхронізації власне каналів.

Третя з основних процедур МРОД розв'язує задачу пошуку в уже синхронізованих парціальних каналах траєкторій, які належать одному й тому самому об'єкту (судну). Задачу розв'язуємо шляхом взаємного зіставлення векторів траєкторних параметрів, а саме: двовимірних координат, курсу та швидкості для траєкторій, що перебувають на ділянках перетину робочих зон відповідних навігаційних систем. Умовою ухвалення позитивного рішення про ідентичність траєкторій є перебування різниці між парціальними оцінками всіх без винятку зазначених траєкторних параметрів у наперед визначених границях, які формуємо виходячи з очікуваних характеристик точності відповідних радіовимірювань.

I, нарешті, остання з основних процедур МРОД полягає у формуванні власне інтегрального вектора траєкторних параметрів для траєкторій, які визнано такими, що вони належать одному й тому самому судну.

Оскільки оцінки траєкторних параметрів, що одержані в різних парціальних каналах ТО, є незалежними, то для їх інтеграції застосовано добре відомий [9, 10, 12, 17] спосіб зваженого некогерентного осереднення

$$\hat{\lambda} = \left\{ \sum_{i=0}^{N_{par}-1} [\lambda_i \cdot w_{\lambda}(i)] \right\} / \left[\sum_{i=0}^{N_{par}-1} w_{\lambda}(i) \right], \quad (14)$$

де $w_{\lambda}(i) = 1/\sigma_{\lambda}^2(i)$ – вага траєкторного параметра λ_i (координати, курсу, швидкості тощо) в i -му парціальному каналі, визначена як величина, що зворотня дисперсії поточної оцінки цього параметра, де взято до уваги й (12).

Зауважимо, що застосування способу (14) є реалізаційною методологічною особливістю представленої вітчизняної АРТС інформаційної підтримки СРРС, яка надає системі певні переваги перед відомими аналогами.

Переваги полягають у тому, що у представленій схемі МРОД у якості ваги парціальних траєкторних даних використано *безпосередні оцінки точності даних, здобутих відповідними парціальними каналами ТО* на відтинку часу.

У інших системах-аналогах [8, 18 – 20], як правило, замість (14) використовують алгоритм обирання результатів найточнішого, згідно з апіорним прогнозом, парціального каналу. Такий спосіб обробки доречніше назвати "псевдомультирадаром", оскільки при цьому не лише не беруть до уваги реальну точність оцінок даних у парціальних каналах, але й припускають прямі інформаційні втрати, що заважає досягненню потенційної точності системи.

Застосуємо до (14) усе той же метод частинного диференціювання для визначення похибок інтегральних оцінок траєкторних параметрів, що узагальнено позначені як λ . Зважаючи на те, що некогерентне осереднення за кількістю задіяних парціальних каналів N_{par} оцінок λ приблизно у стільки ж разів зменшує дисперсію результату [9, 10], після нескладних перетворень одержимо, що середньоквадратичну похибку оцінок відповідних траєкторних параметрів на виході МРОД можна визначити як

$$\hat{\sigma}_{\lambda} = \left\{ \sum_{i=0}^{N_{par}-1} [\sqrt{w_{\lambda}(i)}] \right\} / \left[\sqrt{N_{par}} \cdot \sum_{i=0}^{N_{par}-1} w_{\lambda}(i) \right]. \quad (15)$$

Представлені методологія та технічні рішення в частині інтегральної вторинної обробки навігаційних даних відповідають принципам системного підходу до вибору та реалізації архітектури складних систем, що викладені, наприклад, в [21].

Приклади оцінок ефективності МРОД

Для ілюстрації ефективності розробленої схеми МРОД наведемо один з характерних результатів розрахунку дальності, ракурсу спостереження судна різними постами і бічного відхилення судна від поздовжньої осі фарватеру на основі імітаційного моделювання.

Вважали, що судно рухалося на вихід в море і перебувало на ділянці перетинання робочих зон двох РНС, що розташовані на просторово-розосереджених вздовж морського каналу постах СРРС. Близька до граничної завантаженість судна практично виключала вплив можливої його власної курсової нестабільності на результати обробки.

На графіках рис. 1, 2 наведено основні результати, що характеризують як умови спостереження судна просторово-розосередженими РНС двох постів, так і ефективність власне МРОД. Зокрема, це дальність, ракурс спостереження судна РНС різних постів і головний оцінюваний параметр – парціальні та інтегральна від МРОД оцінки бічного відхилення судна від поздовжньої осі фарватеру. Похибки зазначених оцінок визначено шляхом осереднення у часі на ковзному інтервалі тривалістю ~60 с.

На рис. 1 показано зміни дальності та ракурсу спостереження судна під час його навігаційного проведення двома рознесеними в просторі РНС, що надають вихідні дані для двох незалежних парціальних каналів ТО схеми МРОД.

Із графіків рис. 1 видно, що від початку реєстрації ракурс спостереження судна був сприятливішим для поста 1. На завершальній же стадії реєстрації сприятливіший ракурс спостереження судна був уже для поста 2. А от на найдовшій ділянці реєстрації – на 5 коліні, ракурс спостереження був несприятливим для обох постів.

Останнє підтверджують й одержані парціальними каналами ТО поточні оцінки бічних відхилень судна від поздовжньої осі фарватеру та оцінки їх середньоквадратичних похибок, що представлені на графіках рис. 2.

Із даних рис. 2 видно, що парціальні оцінки параметра бічного відхилення судна від поздовжньої осі фарватеру, внаслідок несприятливого ракурсу спостереження судна, суттєво флюктували у той час як МРОД мала доволі стабільні результати.

Видно, що інтегральні оцінки бічного відхилення судна від поздовжньої осі фарватеру мають мінімальні флюктуації, а їх середньоквадратичні похибки не перевищують аналогічних похибок кожного з парціальних каналів. Причому, і це важливо для користувача, похибки інтегральних оцінок, які становлять близько 3 %, стабільні протягом усього інтервалу спостереження, а не лише на окремих його інтервалах, як це спостерігаємо в парціальних каналах.

Одержаний результат має важливу практичну значимість, оскільки на протяжних (довжиною 6 – 10 миль) колінах морських каналів навіть у разі легкого серпанку або туману мореплавання утруднене.

Утруднення зумовлені тим, що через віддаленість знаків створу таких колін, вони візуально малопомітні, а суднові навігаційні засоби мають невисокі характеристики точності оцінки азимутальних координат. Тому судноводію об'єктивно складно завчасно помітити та компенсувати повільний боковий дрейф судна від поздовжньої осі каналу. А це небезпечно, зважаючи на те, що ширина каналу зазвичай менша за довжину судна, а час реакції судна на поворот його керма сягає десятків секунд.

Саме за таких умов для судноводія є важливою підтримка з берега. Як видно з наведеного прикладу, ефективному розв'язанню цієї задачі вздовж усього каналу сприяє мультирадарна обробка траєкторних даних.

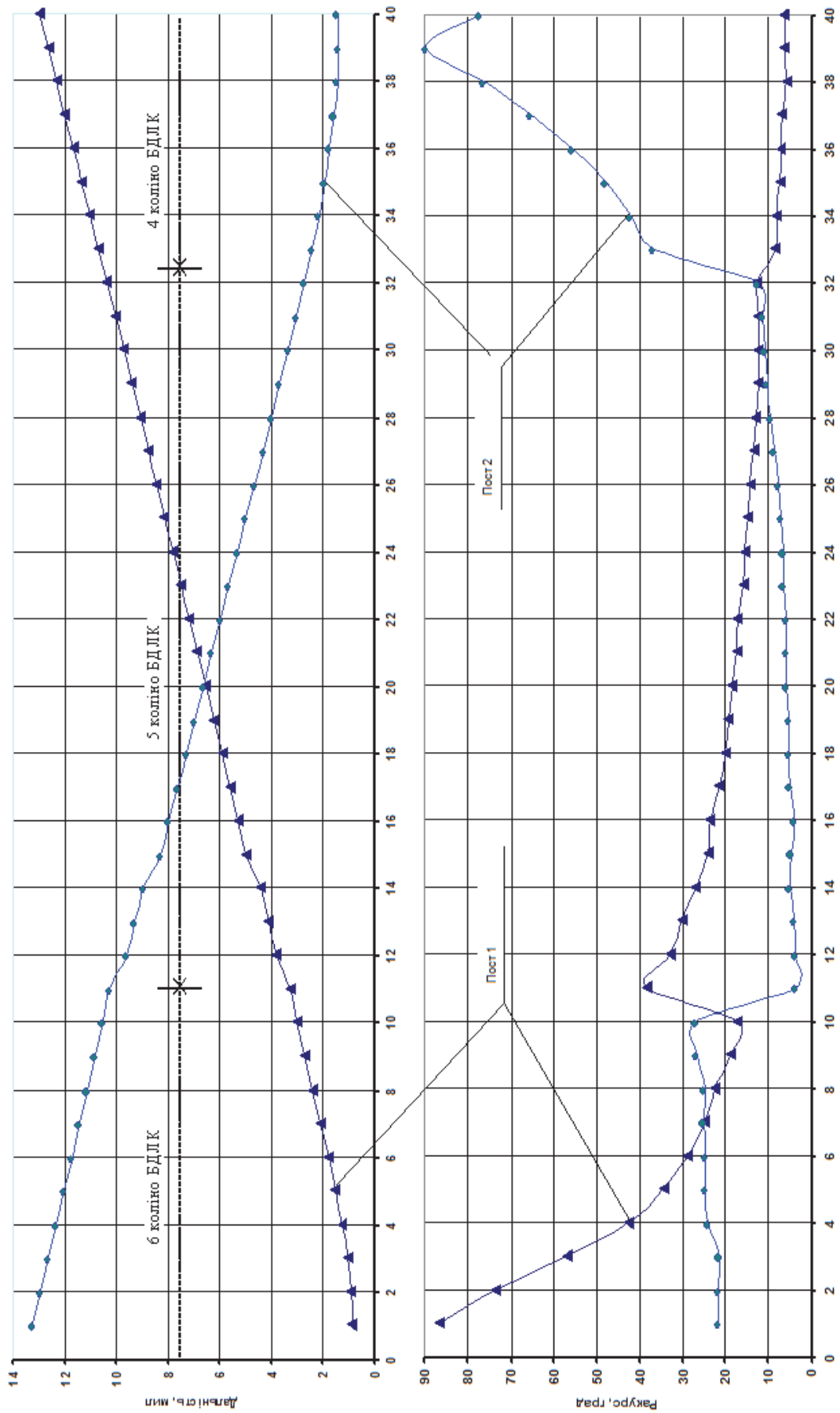


Рис. 1

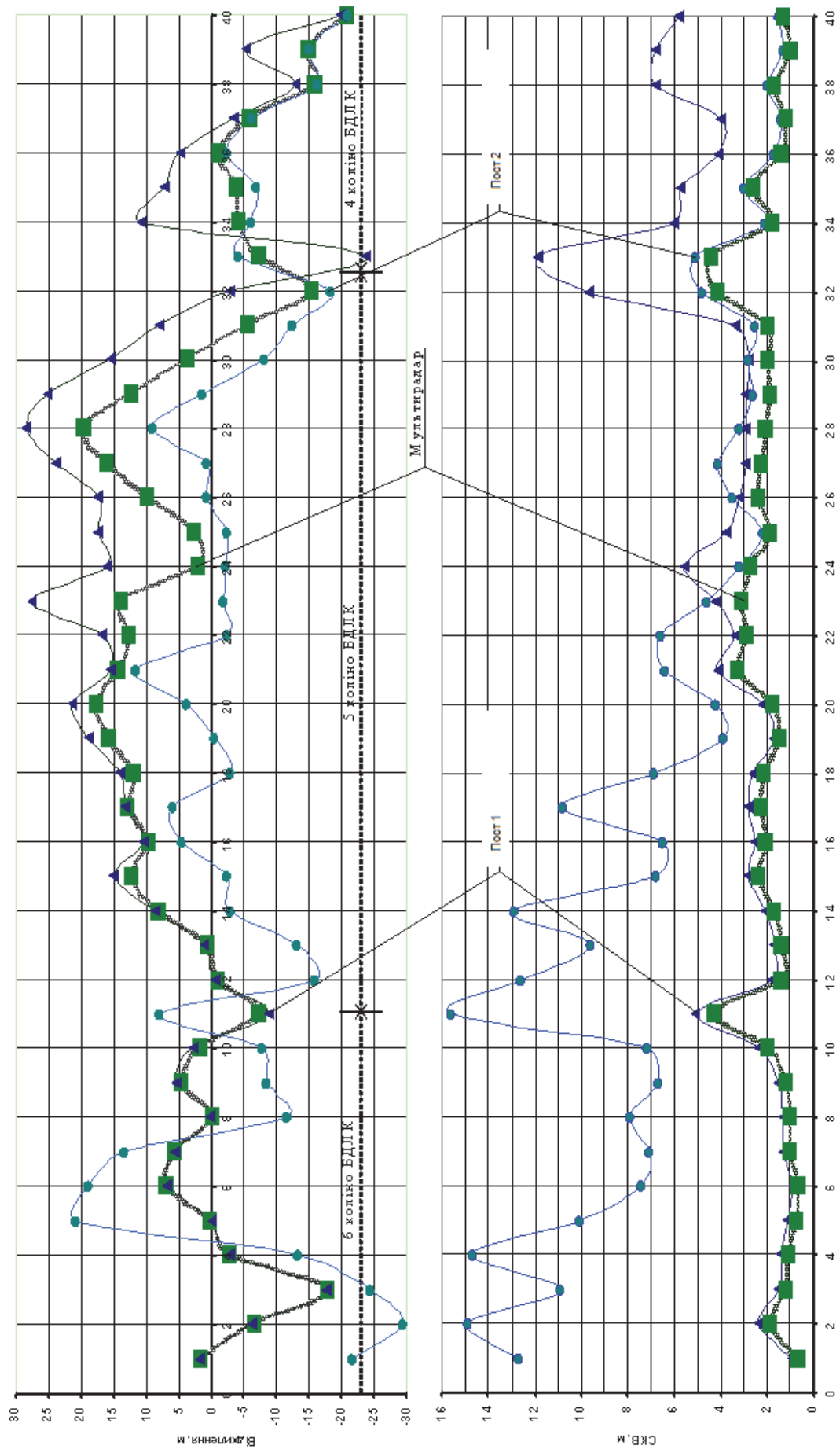


Рис. 2

Висновки

Шляхом аналітичних розрахунків доведено потреба й можливість інтеграції навігаційних даних, що здобуті просторово-розосередженою мережею РНС постів СРРС як дієвого засобу поліпшення якості інформаційної підтримки СРРС. Доведено, що позитивний результат виникає за рахунок ефекту емерджентності, зумовленого розширенням бази вихідних даних, які використовують під час відстеження суден на ділянках взаємного перетинання робочих зон РНС декількох постів СРРС.

Виконано аналіз відомих альтернативних концептуальних підходів до способів інтеграції даних, що їх одержують від просторово-розосередженої мережі навігаційних джерел, які умовно названо концепціями "загального кошика відмітин" і "парціальних ТО". Наведено аргументи, що переконливо свідчать на користь другого концептуального підходу: це й більш об'ємна інформативна база для інтегральної обробки; і можливість роботи з асинхронними джерелами вихідних даних; й істотно менший рівень хибних тривог на вході інтегральної (мультирадарної) обробки даних та ін. Наведено алгоритм, що втілює загальносистемні принципи інтегрування навігаційних даних.

Функціональну ефективність розробленої методики мультирадарної обробки підтверджено прикладами її застосування. У якості кількісних оцінок ефективності використано дані про умовні похибки вимірів бічних відхилень судна від поздовжньої осі фарватеру. Вплив на результати обробки природних флуктуацій курсу судна виключався.

Представлені дані доводять, що поточні інтегральні оцінки розглянутого параметра мають мінімальні флуктуації, а їх середньоквадратичні похибки не перевищують аналогічні похибки кожного з парціальних каналів. Причому, що важливо для користувача, похибки інтегральних оцінок становлять лише 3 %, стабільні протягом усього інтервалу спостереження, а не лише на окремих його ділянках, як це є характерним для парціальних каналів. У цілому, це підтверджує високу ефективність представленої схеми мультирадарної обробки траєкторних даних.

Список літератури

1. IALA Recommendation V-128. On Operational and Technical Performance Requirements for VTS Equipment. Edition 3.0, June 2007 // International Association of Lighthouse Authorities (IALA). 2007. 68 p. Режим доступу: http://www.ialathree.org/chapo/publications/documentspdf/doc_200_eng.pdf.
2. Backstrom, R. A National Traffic Information System for the Maritime Community // Internat. Conf. "VTS 2000". Singapore, 2000.
3. Парфентьев О. С. Системы управления движением судов и их роль в современном судоходстве / О. С. Парфентьев, О. Б. Причкин // Морские вести России. 2001. №13 - 14. С. 8 - 9.
4. Кравченко А. И. Создание и особенности функционирования системы информационного обеспечения современной региональной СРДС // Состояние и перспективы развития береговых систем управления движением судов : 7-й Междунар. науч.-техн. семинар, 21 – 24 сентября 2004 г., г. Николаев, Украина : сб. докладов. Николаев : ГП "Дельта-Лощман", 2004. С. 62 – 69.
5. Sandberg, O. The Norwegian Coastal Operations and Surveillance System (COOS) // International Conf. "VTS 2000". Singapore, 2000.
6. Бездольний В. В. Система інформаційно-навігаційного забезпечення для регіональних служб регулювання руху суден / В. В. Бездольний, О. І. Кравченко // Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів (ПАЕТС-2005) : Всеукр. наук.-техн. конф. з між нар. участю, 19 - 20 травня 2005 р., м. Миколаєв, Україна : зб. наук. праць. Миколаїв : Інститут автоматизації та електротехніки Національного університету кораблебудування. 2005. Ч. 1. С. 9 – 17.
7. Кравченко О. І. Класифікація задач та методологічні особливості побудови й функціонування сучасних систем інформаційної підтримки СРРС / О. І. Кравченко // Судовождение : сб. науч. тр. ОНМА. Одесса : Изд-тИнформ, 2009. Вып. 17. С. 90 – 99.
8. Pechenin V. V. Synthesis of the channel for forced tuning of Doppler tracking filter / V. V. Pechenin, K. O. Shcherbina, O. V. Voitenko // Radioelectronics and Communications Systems. – 2015. – Vol. 58, №1. – P. 49–57.
9. Бендат Д. С. Измерение и анализ случайных процессов ; пер. с англ. / Д. С. Бендат, А. Г. Пирсол. Москва : Мир, 1971. 408 с.
10. Брандт З. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров : пер. с англ. Москва : Мир, ООО "Издательство АСТ", 2003. 686 с.

11. Бартон Д. Справочник по радиолокационным измерениям ; пер. с англ. Москва : Сов. радио, 1976. 392 с.
12. Фалькович, С. Е. Статистическая теория измерительных радиосистем / С. Е. Фалькович, Э. Н. Хомяков. – Москва : Радио и связь, 1981. – 288 с.
13. Кузьмин С. З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. Москва : Радио и связь, 1986. 352 с.
14. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация. Москва : Радио и связь, 1993. 416 с.
15. Грачев В. М. Метод и алгоритм мультирадарной траекторной обработки радиолокационной информации в системе независимых радиолокационных станций / В. М. Грачев, А. В. Довбня // Радиотехника. 2006. Вып. 147. С. 9 - 16.
16. Войтович С. А. Метод об'єднання інформації про повітряні об'єкти від сукупності різнотипових джерел / С. А. Войтович, С. Ю. Стасев, В. О. Корнєєв // Системи озброєння і військова техніка. 2008. № 4 (16). С. 54 – 58.
17. Стасев Ю. В. Об'єднання інформації в системах обробки радіолокаційної інформації з врахуванням часу надходження даних від джерел / С. Ю. Стасев, С. Б. Клімов // Проблеми інформатики і моделювання : 6-та Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, Україна : матеріали конференції. Харків : НТУ "ХПИ", 2006. С. 32 – 35.
18. New VTS Radar from Atlas Elektronik [Електронний ресурс] // Hydro International. 2011. Режим доступу : http://www.hydro-international.com/news/id390-New_VTS_Radar_from_Atlas_Elektronik.html (22.04.2011).
19. Vessel Traffic Management and Information System VTMIS 5060 [Електронний ресурс] // Kongsberg Norcontrol IT. 2006. Режим доступу : http://www.kongsberg.com/en/KDS/KNCIT/AboutUs/KongsbergNorcontrolITDownloads/~/_media/ECECB852322445CEB1659CC530B95786.ashx (22.04.2011).
20. Atlas Maritime Security GmbH [Електронний ресурс] // Signalis (A Cassidian and Atlas Elektronik company). 2011. Режим доступу : <http://www.atlas-ms.com/index.php?id=48&L=0> (23.04.2011).

*Національний аерокосмічний університет
ім. М.С. Жуковського «ХАІ»,
Філія «Дельта-Лоцман» ДП «АМПУ»
Міністерства інфраструктури України*

Надійшла до редколегії 06.02.2018