

УДК 656.61.052.484

ON THE SHIP POSITION ACCURACY ASSESSMENT

ІМОВІРНІСТНА ОЦІНКА МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ СУДНА

V.V. Severin, PhD student

В.В. Северін, аспірант

*Odessa National Maritime Academy, Ukraine
Одеська Національна Морська Академія, Україна*

ABSTRACT

Options to estimate the most probable position of a vessel at sea in order to improve safety of navigation are reviewed in the paper.

To access positional errors is suggested to use elliptical error as more accurate and directionally distributed. Use of surplus lines of positions assessed as the main method to increase accuracy.

Key words: vessel position accuracy assessment, radial position error, most probable position line of position.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Серед важливих проблем підвищення безпеки судноплавства та зменшення аварійності є надійна впевненість судноводіїв в якомога ймовірнішому місцеположенні судна, особливо при плаванні в районах, що є небезпечними в навігаційному сенсі – при плаванні на малих глибинах, поблизу скель, островів, в районах з інтенсивним судноплавством, тощо.

Аналіз останніх досягнень

Останнім часом, морські судна забезпечені доволі точними навігаційними засобами контролю місцеположення судна, у тому числі і космічні. Незважаючи на таке забезпечення, можливі збої, відключення, тощо. Судноводій має завжди оцінити з безпечною вірогідністю місцеположення судна. Так само,

Імовірнісна оцінка місцеположення судна полягає в отриманні координат на поверхні, яка вирішується шляхом однозначного обчислення при наявності необхідної чисельності параметрів – шляхом зрівняння за методом найменших квадратів або іншими обґрунтованими методами оптимізації.

Формулювання цілей статті

Імовірнісна, найбільш всебічна оцінка точності місцеположення судна, що отримано за результатами обробки відповідних параметрів, у тому числі і оцінювання якості зрівняння за методом найменших квадратів, яке може бути виконане за допомогою тензора похибок [3]. Похибка положення окремого пункту має розглядатись відносно прийнятих вихідних пунктів. Такими пунктами можуть бути будь-які з множини пунктів, що оточують оцінюваний пункт [1].

Таким чином, в сітці для оцінки точності одного пункту може бути отримано множина чисельних значень прийнятого критерію точності.

Викладення матеріалу дослідження

У практичному судноводінні, звичайно, визначають дискретно місцеположення судна на зафіксований момент шляхом вставляння одного пункту в «жорстку сіть», що одержали за спостереженнями та вимірюваннями небесних світил чи берегових орієнтирів. При цьому вихідні параметри, за звичай, вважаються безпомилковими. Таким чином, у повній мірі характеристикою точності місцеположення судна буде двомірний тензор – ковариційна матриця похибок положення місця.

$$K = \begin{vmatrix} m^2_x & m_{xy} \\ m_{xy} & m^2_y \end{vmatrix} = T \begin{vmatrix} a^2 & 0 \\ 0 & b^2 \end{vmatrix} T', \quad (1)$$

де T – матриця повороту.

Для наочності будують еліпс погрішності, зорієнтований відносно вісі координат, що задані трьома числами: a – велика піввісь середнього еліпсу погрішності; b – мала піввісь або $k=b:a$; α – кут між віссю координат і великою піввіссю еліпсу.

Еліпс похибок може бути заданий також графічно.

Замість середнього еліпса похибок з півосями a і b , побудованого за допомогою середньої квадратичної похибки вимірювання навігаційних параметрів, можуть бути побудовані еліпси зі збільшеними півосями, за звичай у 2, у 2.5 або у 3 рази.

Еліпс похибок містить найбільш повну інформацію про точність обсервації, є кривою однакової щільності вірогідності положення точки і дає можливість обґрунтовано вирішувати з імовірних позицій при нормальному розподілі усі питання практики, пов'язані з точністю визначення місця. При площинному, двомірному, розподілі довірчавірогідність попадання визначеного місця у середній еліпс похибок p дорівнює 0.394, у еліпс зподвоєними півосями – 0.865, з потроєними – 0.989.

В практиці судноводіння для забезпечення безпеки плавання в першу чергу є цікавою оцінка точності положення судна по заданому напрямку і в кінцевому рахунку – по будь якому напрямку. Це характеризується педальною кривою (подерою) еліпса, яка є „крива однакової точності” положення судна по заданому напрямку.

Таким чином, еліпс похибок вельми просто і ефективно може бути використаним для визначення погрішності місця по будь якому напрямку.

Для порівняльної оцінки точності положення місця і для порівняння можливих варіантів визначення місця використання подери не менш складно ніж еліпса похибок.

Очевидно, для порівняльної оцінки доцільно точність положення судна характеризувати єдиним числом-погрішністю положення місця по напрямку

– радіусом-вектором подери $r = \sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}$.

Усі радіуси-вектори подери, у тому числі a і b , мають однакову довірительну вірогідність, у випадку середнього еліпса $p_r = 0,683$, для подвоєного еліпса $p_{2r} = 0,954$, $p_{2,5r} = 0,987$, $p_{3r} = 0,997$.

Приймаючи за критерій точності велику піввісь еліпса $a = r_{max}$ з її довірительною вірогідністю та розповсюджуючи її на усі інші напрями, маємо деякий запас міцності у всіх випадках, коли $b < a$. Приймаючи за критерій точності велику піввісь еліпса, митаким чином замінюємо подеру колом, що буде, справедливо лише для $b = a$. За сприятливих умов геометрії визначення місця, при оптимальному виборі вимірних параметрів намагаються отримати $b \approx a$. В такому разі, очевидно, обидві криві - подера і еліпс зіллються в одну криву - коло радіуса a .

Треба зауважити, що в деяких спеціальних випадках практика цікавить погрішність положення тільки за одним заданим напрямом. Звичайно, при цьому у якості міри точності визначаючого місця повинно бути одне число-погрішність по зацікавленому напрямку. Такий показник точності може прийматись для оцінки точності гідротехнічних, гідрографічних, маркшейдерських та інших інженерних робіт.

В навігації, геодезії і гідрографії у якості критерію точності положення пункту, що виражається одним числом, застосовується середня квадратична похибка визначення місця або радіальна погрішність місця судна, виражена колом з радіусом, що дорівнює кореню квадратному від суми квадратів сполучених пів діаметрів еліпса погрішності місця судна.

$$M = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{c^2 + d^2} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}. \quad (2)$$

Основним доводом для прийняття M у якості критерію точності положення пункту є мала залежність від форми еліпса погрішності (при рівних a) значення „вірогідності того, що отримана точка віддалена від істинної на відстань не більше за M ”. Цей довід заснований на порівнянні вірогідності попадання визначальної точки у кола радіуса M , що знаходяться у межах від 0.632 при $a=b$ до 0,683 при $b \rightarrow 0$ за умови двомірного нормального розподілу.

У роботі [9] приведено таблиці для врахування такої малої залежності зміни коефіцієнта вірогідності від зміни форми еліпса $k=b:a$.

Необхідно зазначити, що вірогідність попадання визначальної точки у коло радіусом $M = \sqrt{a^2 + b^2}$ не має прямого відношення довірительності похибки положення пункту за напрямом, що дорівнює радіусам-векторам подери, які мають однакову вірогідність. При цьому дуже важливо, що кола радіуса M при $a \neq b$ не є кривими однакової щільності вірогідності. Щільність вірогідності може дуже значно, багаторазово, відрізнятись для різних точок одного кола, особливо при $b < a$. Вірогідність попадання в межі ліній неоднакової щільності, детально розглянуто в теорії вірогідності стосовно до аналізу вірогідності влучення в ціль. Але вірогідність влучення в такі межі не мають слугувати для порівняльної оцінки точності [2]. Якщо порівнювати одномірні вірогідності

похибок положень за напрямом, то незалежно від форми еліпса усі вони будуть однаковими і для еліпсів з рівними більшими півосями (для середнього еліпса) $p_n=0,683$, така сама вірогідність буде і для M при $b \rightarrow 0$, а для M при $b=ap=0,844$, тобто на 24 % більше.

До вибору критерію точності можливі різні підходи в залежності від кінцевої мети. При виборі критерію точності обсервації доцільно розглянути, які питання в практиці судноводіння допомагає вирішувати знання погрішності положення. Насамперед, це питання безпечного мореплавання у стислих умовах: у прибережних водах, каналах, акваторіях портів при підході до портів і вузькостей, при виконанні інженерно-дослідницьких робіт, тощо. Якщо побудувати еліпс погрішності, завчасно розрахований при підході до небезпеки при заданому курсі, очевидно, при вирішенні питання про безпечне плавання необхідно знати погрішність положення судна за напрямом та довірча вірогідність цієї погрішності (одномірний розподіл), а не вірогідність влучення визначаючого пункту в еліпс (двомірний розподіл) тим паче, не вірогідність попадання у коло радіуса середньої квадратичної погрішності M . Еліпс похибок дозволяє обґрунтовано висновувати про ширину смуги, яка відповідає довірчій вірогідності при русі судна по курсу. При зміні курсів судна довірчі вірогідності похибок положення за напрямками m_1, m_2, m_3 і т.д., як відомо, дорівнюють довірчій вірогідності півосей подери еліпса a і b . Найбільше ж значення погрішності дорівнює більшій півосі еліпса $m_{max}=a$. Отже, за любим напрямком шляху на півширина смуги буде менше і у крайньому випадку дорівнюватиме a . Для забезпечення безпеки плавання належить приймати півширину смуги кратну a . Так, при $2,5 a$ довірча вірогідність при нормальному розподілі становить $p=0,987$, при $3ap = 0,997$. Звідси можна зробити висновок, що при оцінюванні точності одним числом більша піввісь еліпса a краще задовольняє вимогам критерію точності ніж M , у всякому разі при використанні похибки положення пункту з метою підвищення безпеки плавання.

Для наочності відносних оцінок, одержаних при використанні в якості критерію точності положення середньої похибки положення пункту M , можна побудувати еліпси похибок з рівними більшими півосями a , але різної форми, прийнятої у роботі [6] : $b=a, b=0,5a$ і $b=0,1a$. У усіх трьох випадках нанесено середні еліпси з одномірною довірчою вірогідністю півосей $p_o=0,683$ і двомірною довірчою вірогідністю влучення в еліпс $p_s=0,394$, а також кола з радіусами, що дорівнюють середнім похибкам положення пунктів $M = \sqrt{a^2 + b^2}$, з двомірною вірогідністю влучення в коло, що дорівнює $p_k=0,63 \div 0,68$ в залежності від значення $k=b:a$ (от 1 до 40) [4;6].

Як уже йшлося, у відмінності від екліптичних кривих дуги кіл не є кривими однакової щільності вірогідності знаходження пункту, що визначається і подекуди щільність вірогідності зменшується, а подекуди дорівнює нулю.

На основі аналізу результатів можна зробити висновок, що вірогідності влучення в кола з радіусами M не можуть слугувати порівняльною оцінкою місць, що визначаються та прогнозованих різних варіантів визначення місця.

Обчислення середньої похибки місця M порівняно простіше, ніж більшої пів вісі еліпсу a . Хоча при сучасних обчислювальних засобах це не має суттєвого значення, тим не менш ця обставина могла би слугувати одним із доводів на користь застосування M , але в працях [4] і [6] наголошується на доцільність редукування M з врахуванням форми еліпса $k = b:a$. В цьому випадку за наявності k неважко перейти від середньої похибки місця M до більшої пів вісі еліпсу a [7]:

$$a = M : \sqrt{1+k^2}; 0,708M \leq a < M. \quad (3)$$

Висновки

Таким чином, в результаті представлених розмірковувань приходимо до висновку, що загальнорозповсюджений критерій точності визначення місця – середня квадратична похибка (радіальна похибка місця судна) M не дозволяє з вірогіднісних позицій (приймаючи нормальний розподіл) виконувати відносну оцінку точності визначення місця і з довіркою вірогідністю визначати значення похибки місця за напрямком. Доцільно у якості критерію точності, що можна виразити одним числом, приймати значення більшої пів вісі еліпсу a [5] з довіркою вірогідністю для середнього еліпса.

Наведений метод оцінки параметрів еліпса похибок в навігації, геодезії і гідрографії та при інших інженерних роботах може бути використаним для визначення погрешності місця по будь якому напрямку.

Серед важливих проблем підвищення безпеки судноплавства та зменшення аварійності є надійна впевненість судноводіїв в якомога ймовірнішому місцеположенні судна, особливо при плаванні в районах, що є небезпечними в навігаційному сенсі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кель Н.Г. Графический метод в действиях с погрешностями и положениями / Н.Г. Кель // Изд-во АН СССР.- М.; 1948 – 235с.
2. Конусов В.Г. Критерий точности планового положения пунктов инженерно-геодезических сетей / В.Г. Конусов В.Г./ Межвузовский сборник «Совершенствование методов инженерно-геодезических работ». – Новосибирск, 1981, С. 3-11.
3. Гордеев Ю.А. Обобщение приемов оценки точности положения / Ю.А. Гордеев // Ученые записки ЛВИМУ, вып. XV.- Л.; Морской транспорт, 1959.-130 с.
4. Коугия В.А. Обоснованность оценки точности положения точки / В.А. Коугия // Геодезия и картография, 1978, № 4, С.12-15.
5. Никифоров Б.И. Выбор углов для наиболее точного определения положения точки / Б.И. Никифоров // – Л: Изд-во Главсевморпути, 1940. – 72 с.
6. Сорокин А.И. О вероятности средней квадратической погрешности положения точки / А.И. Сорокин, И.А. Сорокин // Геодезия и картография, 1981, № 12,С.31-34.

7. Сорокин А.И. Географические исследования Мирового океана / Сорокин А.И. – Л.: Гидрометеиздат, 1980.- 288с.