

МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ СУДНОВОДІЯ НА КАПІТАНСЬКОМУ МІСТКУ ПІД ЧАС НЕСЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ ВАХТИ

Носов П.С., Бень А.П.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Сафонова Г.Ф., Носова Г.В.

*Херсонський політехнічний коледж Одеського національного політехнічного університету
(Україна)*

Вступ. В умовах забезпечення безпеки мореплавства, особливо під час виконання складних навігаційних завдань, важливою ланкою є контроль за діями офіцерів на капітанському містку [1-2]. Слід зауважити що під час виконання складних маневрів контроль за ситуацією передбачає правильне розташування членів навігаційної вахти [3]. Це також важливо під час аналізу поведінки та інтелектуальної діяльності курсантів / кадетів для забезпечення навчального ефекту [4-6], а також врахування складних психологічних станів особистості в умовах їх соціальних очікувань та мотивації [7-9].

Все це безумовно свідчить про актуальність дослідження, спрямованого перш за все на створення безпечної обстановки засобами формальних та інформаційних систем. Отже метою дослідження є створення методу ідентифікації місця розташування судноводіїв на капітанському містку для забезпечення безпеки несення навігаційної вахти.

Таким чином, стоїть завдання у розробці методу, що дозволяє ідентифікувати положення навігатора відносно центру капітанського містка. Для технічної його реалізації необхідно виконати формальний опис підходу визначення місця розташування навігатора в просторі на основі програмно-апаратного забезпечення.

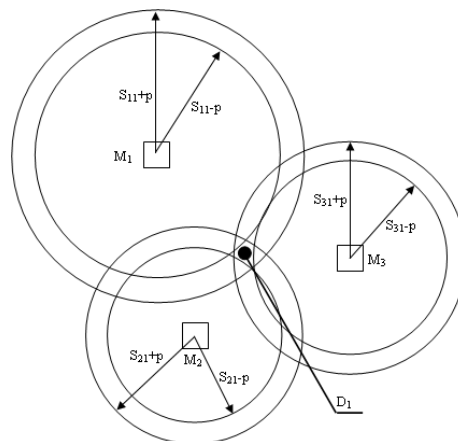


Рисунок 1 – Загальна схема роботи системи

З метою ідентифікації положення членів вахтової служби використовується система, що складається з маячків і датчиків серверного модуля управління (рис. 1). Маячки M_i , ($i \in (1..m)$), являють собою BLE-передавачі (Bluetooth Low Energy), виконані з використанням технології Arduino у зв'язці з модулем AT-09 BLE і Wi-Fi модуля ESP8266. Всі маячки мають портативні акумулятори, що забезпечують автономність. Датчики D_k підключаються до всіх маячків M_i по черзі і приймають від них час передачі пакету.

На основі цього часу визначається відстань S_{ik} між маячком M_i і датчиком D_k з деякою погрішністю p . Для однозначного визначення координат місця розташування судноводія з датчиком, необхідно отримати інформацію мінімум від трьох маячків.

Виконаємо математичне моделювання за даними, які транслюються трьома датчиками у декартовій системі координат [10]. Скористаємося для знаходження місця розташування судноводія дальномірним методом, застосувавши формулу:

$$D_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2},$$

де D_i – дальність між i -м маячком і об'єктом спостереження;

x_i, y_i, z_i – відомі на момент вимірювання координати i -го датчика;

x, y, z – невідомі координати об'єкта спостереження.

Для знаходження місця розташування об'єкта спостереження необхідно знайти координати перетину трьох сфер, тобто необхідно знати відстань до трьох маячків.

А координати об'єкта спостереження є рішенням системи з трьох рівнянь D_1, \dots, D_3 :

В даному методі передбачається, що відстані до маячків знаходяться точно, але так як існує проблема наявності похибки вимірювання приладом (маячком), то для знаходження місця розташування об'єкта будемо використовувати псевдодальномірний метод.

Під псевдодальністю розуміється вимірjana дальність $D_{\text{изм } i}$ до i -го маячка, яка відрізняється від істинної дальності на невідому, але постійну на час визначення величину D' .

Таким чином, для псевдодальності до i -го маячка можна записати:

$$D_{\text{изм } i} = D_i + D' = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + D',$$

У псевдодальномірному методі поверхню положення, як і раніше, є сфера, але радіус цієї сфери змінений на невідому величину D' .

Вимірювання псевдодальностей до трьох маячків призводить до системи рівнянь з чотирма невідомими (x, y, z, D') . Для усунення виниклої невизначеності необхідно провести додаткові виміри, тобто виміряти псевдодальності до четвертого маячка. Отримана таким чином система чотирьох рівнянь має точне рішення, і, отже координати об'єкта спостереження визначаються як точка перетину чотирьох поверхонь положення:

$$\begin{cases} D_1 + D' = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2}, \\ D_2 + D' = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2}, \\ D_3 + D' = \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2}, \\ D_4 + D' = \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2} \end{cases}, \begin{cases} (D_1 + D')^2 = (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2, \\ (D_2 + D')^2 = (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2, \\ (D_3 + D')^2 = (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2, \\ (D_4 + D')^2 = (x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2. \end{cases}$$

Розкриємо дужки:

$$\begin{cases} D_1^2 + 2D_1D' + D'^2 = x_1^2 - 2x_1x + x^2 + y_1^2 - 2y_1y + y^2 + z_1^2 - 2z_1z + z^2 \\ D_2^2 + 2D_2D' + D'^2 = x_2^2 - 2x_2x + x^2 + y_2^2 - 2y_2y + y^2 + z_2^2 - 2z_2z + z^2, \\ D_3^2 + 2D_3D' + D'^2 = x_3^2 - 2x_3x + x^2 + y_3^2 - 2y_3y + y^2 + z_3^2 - 2z_3z + z^2, \\ D_4^2 + 2D_4D' + D'^2 = x_4^2 - 2x_4x + x^2 + y_4^2 - 2y_4y + y^2 + z_4^2 - 2z_4z + z^2. \end{cases}$$

Від першого рівняння системи по черзі забираємо друге, третє четверте, а від другого рівняння - третє.

$$\begin{cases} D_1^2 - D_2^2 + 2D_1D' - 2D_2D' = x_1^2 - x_2^2 - 2x_1x + 2x_2x + y_1^2 - y_2^2 - 2y_1y + 2y_2y + z_1^2 - z_2^2 - 2z_1z + 2z_2z, \\ D_1^2 - D_3^2 + 2D_1D' - 2D_3D' = x_1^2 - x_3^2 - 2x_1x + 2x_3x + y_1^2 - y_3^2 - 2y_1y + 2y_3y + z_1^2 - z_3^2 - 2z_1z + 2z_3z, \\ D_1^2 - D_4^2 + 2D_1D' - 2D_4D' = x_1^2 - x_4^2 - 2x_1x + 2x_4x + y_1^2 - y_4^2 - 2y_1y + 2y_4y + z_1^2 - z_4^2 - 2z_1z + 2z_4z, \\ D_2^2 - D_3^2 + 2D_2D' - 2D_3D' = x_2^2 - x_3^2 - 2x_2x + 2x_3x + y_2^2 - y_3^2 - 2y_2y + 2y_3y + z_2^2 - z_3^2 - 2z_2z + 2z_3z. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2x_1x - 2x_2x + 2y_1y - 2y_2y + 2z_1z - 2z_2z + 2D_1D' - 2D_2D' = x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 + z_1^2 - z_2^2 + D_2^2 - D_1^2, \\ 2x_1x - 2x_3x + 2y_1y - 2y_3y + 2z_1z - 2z_3z + 2D_1D' - 2D_3D' = x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2 + z_1^2 - z_3^2 + D_3^2 - D_1^2, \\ 2x_1x - 2x_4x + 2y_1y - 2y_4y + 2z_1z - 2z_4z + 2D_1D' - 2D_4D' = x_1^2 - x_4^2 + y_1^2 - y_4^2 + z_1^2 - z_4^2 + D_4^2 - D_1^2, \\ 2x_2x - 2x_3x + 2y_2y - 2y_3y + 2z_2z - 2z_3z + 2D_2D' - 2D_3D' = x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + z_2^2 - z_3^2 + D_3^2 - D_2^2. \end{cases}$$

$$\begin{cases} (2x_1 - 2x_2)x + (2y_1 - 2y_2)y + (2z_1 - 2z_2)z + (2D_1 - 2D_2)D' = x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 + z_1^2 - z_2^2 + D_2^2 - D_1^2, \\ (2x_1 - 2x_3)x + (2y_1 - 2y_3)y + (2z_1 - 2z_3)z + (2D_1 - 2D_3)D' = x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2 + z_1^2 - z_3^2 + D_3^2 - D_1^2, \\ (2x_1 - 2x_4)x + (2y_1 - 2y_4)y + (2z_1 - 2z_4)z + (2D_1 - 2D_4)D' = x_1^2 - x_4^2 + y_1^2 - y_4^2 + z_1^2 - z_4^2 + D_4^2 - D_1^2, \\ (2x_2 - 2x_3)x + (2y_2 - 2y_3)y + (2z_2 - 2z_3)z + (2D_2 - 2D_3)D' = x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + z_2^2 - z_3^2 + D_3^2 - D_2^2. \end{cases}$$

Обчислимо окремо:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 2x_1 - 2x_2, \alpha_2 = 2x_1 - 2x_3, \alpha_3 = 2x_1 - 2x_4, \alpha_4 = 2x_2 - 2x_3, \\ \beta_1 &= 2y_1 - 2y_2, \beta_2 = 2y_1 - 2y_3, \beta_3 = 2y_1 - 2y_4, \beta_4 = 2y_2 - 2y_3, \\ \gamma_1 &= 2z_1 - 2z_2, \gamma_2 = 2z_1 - 2z_3, \gamma_3 = 2z_1 - 2z_4, \gamma_4 = 2z_2 - 2z_3, \\ d_1 &= 2D_1 - 2D_2, d_2 = 2D_1 - 2D_3, d_3 = 2D_1 - 2D_4, d_4 = 2D_2 - 2D_3, \end{aligned}$$

$$\begin{cases} b_1 = x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 + z_1^2 - z_2^2 + D_2^2 - D_1^2, \\ b_2 = x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2 + z_1^2 - z_3^2 + D_3^2 - D_1^2, \\ b_3 = x_1^2 - x_4^2 + y_1^2 - y_4^2 + z_1^2 - z_4^2 + D_4^2 - D_1^2, \\ b_4 = x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + z_2^2 - z_3^2 + D_3^2 - D_2^2 \end{cases} \begin{cases} \alpha_1x + \beta_1y + \gamma_1z + d_1D' = b_1, \\ \alpha_2x + \beta_2y + \gamma_2z + d_2D' = b_2, \\ \alpha_3x + \beta_3y + \gamma_3z + d_3D' = b_3, \\ \alpha_4x + \beta_4y + \gamma_4z + d_4D' = b_4 \end{cases}$$

Знайдемо рішення системи методом Крамера [11]:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & d_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & d_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & d_3 \\ \alpha_4 & \beta_4 & \gamma_4 & d_4 \end{vmatrix} = \alpha_1 \begin{vmatrix} \beta_2 & \gamma_2 & d_2 \\ \beta_3 & \gamma_3 & d_3 \\ \beta_4 & \gamma_4 & d_4 \end{vmatrix} - \beta_1 \begin{vmatrix} \alpha_2 & \gamma_2 & d_2 \\ \alpha_3 & \gamma_3 & d_3 \\ \alpha_4 & \gamma_4 & d_4 \end{vmatrix} + \gamma_1 \begin{vmatrix} \alpha_2 & \beta_2 & d_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & d_3 \\ \alpha_4 & \beta_4 & d_4 \end{vmatrix} - d_1 \begin{vmatrix} \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 \\ \alpha_4 & \beta_4 & \gamma_4 \end{vmatrix}$$

Тоді рішення має вигляд: $x = \frac{\Delta_1}{\Delta}$, $y = \frac{\Delta_2}{\Delta}$, $z = \frac{\Delta_3}{\Delta}$, $D' = \frac{\Delta_4}{\Delta}$

Таким чином, сервер отримує по мережі Wi-Fi дані відстаней, також на ньому прописані координати всіх встановлених BLE-маячків, що дозволяє накопичувати в своїй базі даних БД координати знаходження об'єкта у реальному часі.

Маячки M_i можуть бути розташовані на різних висотах, як і натільні датчики D_k . З огляду на цей факт, матиме місце перетину трьох сфер. Загальна частина перетину і буде визначати місцезнаходження об'єкта з певним датчиком. Експеримент показав, що для ідентифікації місця розташування навігаторів з необхідною точністю досить розташувати три датчика.

На сервері встановлено програму, яка реєструє переміщення всіх членів команди з приєднаними датчиками. Всі координати кожні 0,1 с зберігаються в БД сервера.

Існує також можливість переглянути всі переміщення членів команди з метою проведення поведінкового аналізу. Додатковим аналізатором є портативний навушник з вбудованим надчуттєвим акселерометром, що дозволяє з високою точністю визначити

повороту голови навігатора. Це особливо важливо в тих випадках, коли навігатор, не змінюючи свого місця розташування, аналізує ситуацію.

Висновок. Наведені формальні і алгоритмічні підходи дають можливість з достатньою точністю ідентифікувати положення судноводіїв на капітанському містку. У момент несення вахти особливо у критичних ситуаціях дуже важливо зчитувати траєкторію руху членів навігаційної вахти з метою визначення їх помилкових дій для подальшого усунення негативних наслідків. Особливо це важливо під час аналізу інтелектуальної діяльності курсантів / студентів під час виконання практичних, лабораторних занять та підвищення кваліфікації [12-13].

ЛІТЕРАТУРА

1. Nosov P.S., Palamarchuk I.V., Safonov M.S., Novikov V.I. Modeling the manifestation of the human factor of the maritime crew // Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) № 5 (77). – 2018. Pages 82-92. doi:10.15802/stp2018/147937.
2. Nosov P., Palamarchuk I., Zinchenko S., Popovych I., Nahrybelnyi Y., Nosova H. Development of means for experimental identification of navigator attention in ergatic systems of maritime transport // Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics, 2020. - № 1(97). P. 58-69. DOI: 10.31489/2020Ph1/58-69.
3. Носов П.С., Бень А.П., Носова Г.В., Карпова С.О. Моделі і принципи розвитку інформаційних інтерфейсів на морському транспорті // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2018. – № 1 (18) – С. 76–82.
4. Voloshynov S.A. Mobile training technologies in the professional training for the prospective river and maritime transport specialists. Information technology and training tools. 75, (2020). 108-121. doi:10.33407/itlt.v75i1.2729.
5. Носова Г.В., Носов П.С. Математичне моделювання комбінованих навчальних процесів. // Научные труды SWorld. – Выпуск 3(44). Том 2. – Иваново: Научный мир, 2016 – С. 43-47.
6. Nosov P.S., Ben A.P., Nosova H.V., Novikov V.I. Model of distribution of attention the navigator while carrying the navigational watch // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2019. – № 2 (21). – С. 26-34.
7. Попович І. С. Мотиваційний компонент соціально-психологічних очікувань / І. С. Попович // Проблеми загальної та педагогічної психології : зб. наук. праць Інституту психології імені Г. С. Костюка АПН України / За ред. С. Д. Максименка. – К. : «ГНОЗІС», 2011, т. XIII, ч. 4. – С. 290-297.
8. Попович І. С. Роль соціально-психологічних очікувань у професійному становленні та розвитку особистості // Зб. наук. праць: філософія, соціологія, психологія. – Івано-Франківськ: Вид-во ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2015. – Вип. 20, ч. 2. – С. 213-220.
9. Попович І. С. Феномен ціннісно-орієнтаційної єдності в групі курсантів / І. С. Попович // Проблеми заг. та пед. психол.: зб. наук. праць Ін-т. психол. імені Г. С. Костюка АПН України / За ред. С. Д. Максименка. – К.: 2002. – Т. IV. – Ч. 5. – С. 203-209.
10. Застела, М.Ю. Радиотехнические системы / М. Ю. Застела //3-е изд., пер. и доп. Учебное пособие для бакалаврата и магистратуры — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 495 с. ISBN 978-5-534-06598-5.

11. Ben-Israel, A Cramer rule for least-norm solution of consistent linear equations, *Linear Algebra Appl.*, 43~223-226 (1982).

12. Zinchenko S. Automatic collision avoidance system with many targets, including maneuvering ones / S Zinchenko, P. Nosov, V. Mateichuk, P. Mamenko, I. Popovych, O. Grosheva // *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics*, 2019. - № 4(96). P. 69-79. DOI: 10.31489/2019Ph4/69-79.

13. Popovych, I. S., Cherniavskiy, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective “The Ship’s Captain and the Pilot” Interaction Formation by Means of Training Technologies. *Revista ESPACIOS*, Vol. 41(№11). Page 30.