

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І.І.МЕЧНИКОВА

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних систем і технологій

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»

Одеса - 2021

АНОТАЦІЯ

Одним з найважливіших завдань навігаційних комплексів є оперативність обробки отриманих даних місцевості від датчиків які входять до складу навігаційної системи, обробка інформації в умовах збільшення отриманої інформації та зменшення накопичуваної похибки за рахунок удосконаленого алгоритму. Вдосконалення (модернізація, відновлення) існуючих засобів навігації потребує великих фінансових затрат, а також створення необхідних промислових потужностей, що призводить до суттєвого зростання апаратної реалізації засобів.

У зв'язку з цим, виникає необхідність у розробці ефективних методів позиціонування для застосування їх у сучасних бортових системах АРО. При цьому, не зважаючи на інтенсивність розвитку мікроелектроніки, створення все більше швидкодіючих процесорів, запам'ятовуючих пристроїв з великими об'ємами пам'яті, більш швидких засобів передачі даних, підвищення ефективності методів обробки інформації, в тому числі методів стискання, залишається актуальною науково-технічною задачею.

Метою досліджень є забезпечення точності визначення поточного значення координат рухомих об'єктів з раціональним використанням розрахункових ресурсів бортових систем шляхом подальшого розвитку алгоритмів оптимальної фільтрації Калмана в методах SLAM (Simultaneous Localization And Mapping).

Ключові слова: оптимальної фільтрації Калмана, SLAM, бортових системах.

ABSTRACT

One of the most important tasks of navigation systems is the efficiency of processing the received terrain data from sensors that are part of the navigation system, information processing in terms of increasing the information obtained and reducing the accumulated error due to advanced algorithm. Improvement (modernization, restoration) of existing means of navigation requires large financial costs, as well as the creation of the necessary industrial capacity, which leads to a significant increase in hardware sales.

Therefore, there is a need to develop effective positioning methods for use in modern on-board ARO systems. At the same time, despite the intensity of microelectronics, the creation of more high-speed processors, storage devices with large amounts of memory, faster data transmission, improving the efficiency of information processing methods, including compression methods, remains relevant scientifically -technical task.

The aim of the research is to ensure the accuracy of determining the current value of the coordinates of moving objects with the rational use of calculated resources of onboard systems by further developing algorithms for optimal Kalman filtering in SLAM (Simultaneous Localization And Mapping).

Keywords: optimal Kalman filtration, SLAM, onboard systems.

ЗМІСТ

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1.	
ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЛОКАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ РУХОМИХ ОБ’ЄКТІВ.....	4
1.1 Аналіз світових та вітчизняних тенденцій розвитку навігаційних технологій в інтересах споживачів в сухопутних військах збройних сил України та напрямків їх застосування.....	4
РОЗДІЛ 2	
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА НАЗЕМНИХ РУХОМИХ ОБ’ЄКТАХ	16
2.1 Точність та інтегрованих перешкодостійкість систем навігації	16
2.1.1 Точність інтегрованих інерціально-супутникових систем навігації у комплексному режимі.....	16
2.1.2 Точність інтегрованих інерціально-супутникових систем навігації в автономному режимі.....	19
2.2. Перешкодостійкість інтегрованих систем навігації	21
2.3. Способи підвищення точності сучасних інерціальних навігаційних датчиків ІЧНС.....	23
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ВИМОГ ДО НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ РУХОМИХ НАЗЕМНИХ ОБ’ЄКТІВ.....	21
3.1 Загальна схема дослідження точності розв’язання навігаційних задач споживачами.....	27
3.2 Характеристики навігаційної інформації в інтегрованій системі навігації типу SLAM.....	35
РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ СПОЖИВАЧІВ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ	39

4.1 Обґрунтування вимог щодо точності навігаційної інформації при визначенні параметрів руху цілі з рухомої машини координатним способом.....	39
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МОДИФІКОВАНОГО ФІЛЬТРУ КАЛМАНА ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМІ ЛОКАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ РУХОМИХ ОБ’ЄКТІВ.....	45
5.1. Використання розширеного Фільтру Калмана для вирішення завдання SLAM.....	45
5.2 Математичний опис оцінки стану динамічної системи на основі розширеного фільтру Калмана.....	46
5.3. Особливості застосування фільтру Калмана в інтерполяції і прогнозуванні виходу до точки локалізації.....	48
5.4 Оцінка складності алгоритмів методу розрахунку координат з використанням фільтру Калмана.....	53
ВИСНОВКИ.....	54
ЛІТЕРАТУРА.....	57

ВСТУП

У складних реаліях сучасної промисловості України важливим напрямком науково-технічного розвитку є розробка нових технологій з розвитку навігаційного обладнання автономних рухомих об'єктів АРО, із застосуванням сучасних методів та алгоритмів позиціонування АРО, що забезпечить скорочення термінів виконання поставлених завдань. Зважаючи на великий тиск кризових явищ в економіці та посилення конкурентної боротьби на ринку, ці складові змушують проводити роботу щодо розвитку навігаційного обладнання на рівні що найбільш приближений до вимог сучасності.

Одним з найважливіших завдань навігаційних комплексів є оперативність обробки отриманих даних місцевості від датчиків які входять до складу навігаційної системи, обробка інформації в умовах збільшення отриманої інформації та зменшення накопичуваної похибки за рахунок удосконаленого алгоритму. Вдосконалення (модернізація, відновлення) існуючих засобів навігації потребує великих фінансових затрат, а також створення необхідних промислових потужностей, що призводить до суттєвого зростання апаратної реалізації засобів.

Аналіз проведених робіт по визначенню місця розташування свого положення, а також визначення координат необхідного об'єкта, свідчить про те, що існуюче технічне оснащення органів розвідки суттєво відрізняється від темпів росту технічного прогресу. Це призводить до того, що в процесі отримання даних про противника (об'єкт), а саме його координат, органи розвідки витрачають багато часу. А це той дорогоцінний час за який об'єкт може змінити своє місце розташування, або використати засоби маскування, що обмежить виявлення даного об'єкта за допомогою технічних засобів розвідки.

Технічне вирішення поставленої проблеми полягає в поєднанні існуючих автономних комплексів позиціонування разом із сучасним комп'ютером що має програмний продукт який створений на базі існуючих методів та алгоритмів позиціонування. Таке поєднання забезпечить розвиток більш сучасних навігаційних комплексів, що використовуються в різних сферах діяльності таких

як, сухопутний, повітряний та морський компонентах нашої держави, а також в промисловості різних сфер виробництва.

У зв'язку з вищезгаданим, виникає необхідність у розробці ефективних методів позиціонування для застосування їх у сучасних бортових інформаційно-керуючих системах АРО. При цьому, не зважаючи на інтенсивність розвитку мікроелектроніки, створення все більше швидкодіючих процесорів, запам'ятовуючих пристроїв з великими об'ємами пам'яті, більш швидких засобів передачі даних, підвищення ефективності методів обробки інформації, в тому числі методів стискання, залишається актуальною науково-технічною задачею.

Метою досліджень є забезпечення точності визначення поточного значення координат рухомих об'єктів з раціональним використанням розрахункових ресурсів бортових систем шляхом подальшого розвитку алгоритмів оптимальної фільтрації Калмана в методах SLAM (Simultaneous Localization And Mapping).

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести науковий аналіз сучасних методів визначення поточного значення координат навігаційної системою.
2. Обґрунтувати шляхи розвитку методів визначення поточного значення координат автономного рухомого об'єкта навігаційною підсистемою що реалізована як програмне забезпечення.
3. Виконати практичну реалізацію комбінованого методу визначення поточного значення координат навігаційної системою.

Об'єктом дослідження є процес визначення координат об'єктів (цілей) відносно поточного значення координат.

Предметом дослідження є методи і алгоритми визначення поточного значення координат автономних рухомих об'єктів адаптованих до завдань і розподілу розрахункових ресурсів бортових комп'ютерних систем.

ВИСНОВКИ

В роботі з'ясовано, що для СРНС основних недоліків три:

- можливість відключення або загублення даних власником СРНС;
- погане функціонування в міських умовах, горах, тощо;
- постановка приймачам супутникових сигналів навмисних завад.

Встановлено що, одним із важливих етапів визначення координат, є забезпечення визначення місця знаходження. Сутність способу визначення параметрів цілі координатним способом полягає у знаходженні величин (X_c, Y_c) , V_c та γ рухомої цілі з рухомого об'єкта. При цьому об'єкт, з якого здійснюється визначення параметрів цілі, має бути обладнаний системою навігації, лазерним далекоміром та азимутальним покажчиком. Під час визначення параметрів цілі для двох моментів часу τ_1, τ_2 здійснюються два виміри відстані (D_1, D_2) між рухомих об'єктом і ціллю. Координати рухомого об'єкта визначаються за допомогою навігаційної системи (звідки і назва способу). Кути на ціль визначаються за допомогою азимутального покажчика, решта параметрів розраховуються за допомогою обчислювальної апаратури.

Проведено порівняльний аналіз впливу складових компонент на величини $\sigma_{V_c}^2, \sigma_\gamma^2$ та σ_R^2 . Розрахунки проведено для деяких проміжків значень параметрів для найбільш характерних варіантів розташування орієнтирів та рухомого об'єкта. Зауважимо, що величини $\sigma_r = 20\text{ м}$, $\sigma_{ang} = 0.6^\circ$ та $\sigma_{lin} = 10\text{ м}$ є паспортними даними навігаційної системи, азимутального покажчика та припустимими похибками визначення відстані за допомогою лазерного далекоміру відповідно.

Аналіз розрахункового матеріалу дає можливість зазначити, що на визначення величини σ_γ найменшим є вплив складової $G_{ang} \sigma_{ang}^2$, яка власним походженням обумовлена похибками визначення кутів – це дає можливість нею знехтувати.

При визначенні величин $\sigma_{V_c}^2, \sigma_\gamma^2$ домінуючий вплив мають складові G_r та K_r , які власним походженням обумовлені похибками навігаційної системи.

В дипломній роботі отримали інтерполяційну формулу, для обчислення коефіцієнта Калмана що дасть змогу використовувати отримані дані під час дослідження та розробки вдосконаленого методу позиціонування. В роботі проведена оцінка складності алгоритмів методу розрахунку координат з використанням фільтру Калмана, що показала незадовільні результати з точки зору можливості распаралелювання обчислень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Инерциальная навигационная система - Inertial navigation system // Электронный ресурс URL: https://ru.qwertyu.wiki/wiki/Inertial_navigation_system (дата обращения: - 15.05.2018).
2. SLAM - что это такое. // Электронный ресурс URL: <https://icleborobot.by/slam-что-это-в-навигации.html> (дата обращения: 15.12.2018).
3. ROBOT MAPPING AND EKF SLAM. // Электронный ресурс URL: <https://slideplayer.com/slide/5983202/> (дата обращения: 10.01.2018).
4. Левченко А.О., Войтенков Р.М. Витоки втрати працездатності систем діагностики ОБТ другого роду з представленням чисел з плаваючою комою // Сб. науч. труд. Sword. – Иваново: МАРКОВА АД, 2015. – Вип. № 1(38) Том 3. С. 4 – 11
5. Забегаев А.Н., Павловский В.Е. Адаптация фильтра Калмана для использования с локальной и глобальной системой навигации // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2010. № 82. 24 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-82>
6. Extended Kalman filter. Wikipedia. // Электронный ресурс URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Extended_Kalman_filter (дата обращения: 29.12.2017).
7. Eliazar A. I. DP-SLAM 2.0 / Austin I. Eliazar, Ronald Parr // ICRA '04: IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2004. Vol. 2. P. 1314-1320. – 20.01.2018
8. Любкевич К.О., Локалізація мобільного робота на місцевості. /К.О. Любкевич, Ю.О. Гунченко // Збірник матеріалів XIV Всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців “Інформатика, інформаційні системи та технології”. – Одеса – 2017. – С. 188. – 29.01.2018
9. Swaroop C.H. A Byte of Python: пер. с англ. / С.Н. Swaroop – NY, 2013. – 159 p. – 05.07.2018
10. Rao-Blackwellised particle filtering for dynamic Bayesian networks / A. Doucet, N. Freitas, K. P. Murphy, S. J. Russell // Proc. of the 16th Conf. on Uncertainty

in Artificial Intelligence. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2000. P. 176–183. – 15.02.2018.

11. Python Software Foundation. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.python.org> – 03.07.2018

12. Engel J., Schöps T., Cremers D. LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM // Lecture Notes in Computer Science. Cham, 2014. P. 834–849. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-10605-2_54

13. Self-adaptive Synchronous Localization and Mapping using Runtime Feature Models / Werner C. et. al. // Proceedings of the 7th International Conference on Data Science, Technology and Applications. 2018. Vol. 1. P. 409–418. doi: <http://doi.org/10.5220/0006945504090418>

14. Santos F. M., Silva V. F., Almeida L. M. A robust self-localization system for a small mobile autonomous robot // International Symposium on Robotics and Automation. 2002. P. 1–6. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.134.2502>

15. Захаров А. А., Тужилкин А. Ю., Веденин А. С. Алгоритм определения положения и ориентации трехмерных объектов по видеоизображениям на основе вероятностного подхода // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-8. С. 1683–1687.

16. hogonal planes for indoor mobile robotics // Intelligent Robots and Systems. 2007. P. 658–663. doi: <http://doi.org/10.1109/iros.2007.4399512>.

17. Methods and technologies of monitoring of the position of a mobile object in space: Proceedings / Nechyporenko O. V. et. al. // Kompiuterne modeliuvannia ta optyimizatsiia skladnykh system (KMOSS-2018). Dnipro: Balans-klub, 2018. P. 193–195.

18. A. J. Davison, “Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera,” in Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision -Volume 2, ser. ICCV '03. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2003, pp. 1403–. [Online]. Available: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=946247.946734>

19. T. Lemaire, S. Lacroix, and J. Sola, “A practical 3d bearing only slam algorithm,” in Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International
20. G. Klein and D. Murray, “Parallel tracking and mapping for small AR workspaces,” in Proc. 6th IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, 2007.
21. Гуренко Б.В., Шаповалов И.О., Соловьев В.В., Береснев М.А. Построение и исследование подсистемы планирования траектории перемещения для системы управления автономным подводным аппаратом // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3383.
22. Анучин О.Н., Емельянец Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. – СПб.: ИТМО, 1999. – 357 с.
23. Иванов Ю.П. Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1984. – 207 с.
24. Степанов О.А. Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации // Гироскопия и навигация. – 2002. – №1(36) – С.23–46.
25. GX LITEF Land Navigation System Product Description. Document 100059707. February, 3rd 2000. Revision 6.
26. Бондарук А.Б., Глєбов В.В., Євтушенко К.С., Оліярник Б.О. Інтегрована система орієнтації і навігації рухомих бойових машин // Інтегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків, 2008. – №2. – С. 162–165.
27. Степанов О.А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. – СПб: ЦНИИ „Электроприбор”, 1998 – 370 с.
28. Н. Филяшкин, В. Рогожин, А. Скрипец, Т. Лукинова Інерціально-спутникові навігаційні системи навчальний посібник НАУ- 2009 -с 272 стр. ISBN 978-966-598-486-3

29. Карпінський, Ю. О., Геоінформаційне забезпечення навігації наземного транспорту./ Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Дроздівський О. П. – Наука та інновації. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 43- 57.

30. Системы координат спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС / [Макаренко Н. Л., Демьянов Г. В., Зубинский В. И. и др.]. – Геодезия и картография. – 2000. – № 6. – С.5-12.

31. Перспективы объединения возможностей спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Проблемы безопасности 137 полётов. – 1992. – № 7. – С. 3-16.

32. Соловьев, Ю. А. Системы спутниковой навигации – М. : ЭкоТрендз, 2000. – С. 20-42. 5. Brown, A. Integrity Monitoring of GPS Using a barometric Altimeter / Brown A. – RTCA Paper no. 405-87/SC159-117

33. Канадка заехала в озеро, доверившись навигатору // Электронный ресурс URL: : <https://meduza.io/shapito/2016/05/15/kanadka-zaehala-v-ozero-doverivshis-navigatoru> (дата обращения: - 15.05.2016)