

УДК: 629.127

DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-167-178

EDN: NCBFQL

Обзорная статья

Способы и технические средства позиционирования и навигации роботов в водной среде

В. Н. Ле¹, А. Л. Ронжин²

¹ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

197045, Россия, Санкт-Петербург, Ушаковская набережная, 17/1

²Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр

Российской академии наук

199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39

Аннотация. Обсуждаются проблемы позиционирования и навигации роботов в водной среде с применением традиционных инерциальных систем, гидроакустических подходов, поверхностных GPS-буев, систем технического зрения, позволяющих получить относительные координаты положения робота в водоеме и спланировать маршрут к цели. Сложная и изменчивая окружающая среда накладывает дополнительные ограничения, требующие применения альтернативных методов SLAM, взаимодействия нескольких роботов. Комплексование информации с нескольких датчиков различного типа или роботов повышает точность и надежность их позиционирования, позволяет избежать столкновений и коллизий на маршрутах. Рассмотренные подходы, применяемые технические средства, методы обработки информации представлены в виде оригинальных классификаций.

Ключевые слова: робототехника, навигация, позиционирование, SLAM, техническое зрение, гидроакустика, групповое управление роботами

Поступила 24.11.2023, одобрена после рецензирования 27.11.2023, принята к публикации 29.11.2023

Для цитирования. Ле В. Н., Ронжин А. Л. Способы и технические средства позиционирования и навигации роботов в водной среде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 167–178. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-167-178

REFERENCES

1. Морозов Р. О., Горелый А. Е., Рыжов В. А. Интеллектуальные системы навигации и планирования МРТК // Морские информационно-управляющие системы. 2021. С. 34–43.
Morozov R.O., Gorely A.E., Ryzhov V.A. Intelligent navigation and planning systems for AUVs. *Morskiye informatsionno-upravlyayushchiye sistemy* [Marine information management systems]. 2021. Pp. 34–43. (In Russian)
2. Nicosevici T., Garcia R., Carreras M., Villanueva M. A review of sensor fusion techniques for underwater vehicle navigation. *Oceans'-04. MTS/IEEE Techno-Ocean '04* (IEEE Cat. No. 04CH37600). 2004. Vol. 3. Pp. 1600–1605. DOI: 10.1109/OCEANS.2004.1406361.
3. Borkowski P. The ship movement trajectory prediction algorithm using navigational data fusion. *Sensors*. 2017. 17(6). P. 1432. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17061432>.
4. Yuan K., Wang H., Zhang H. Robot position realization based on multi-sensor information fusion algorithm. *Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design*. 2011. Pp. 294–297. DOI: 10.1109/ISCID.2011.81.

5. Yang Q., Sun J. An underwater autonomous robot based on multi-sensor data fusion. *In 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*. Vol. 2. Pp. 9139–9143. DOI: 10.1109/WCICA.2006.1713768
6. Kamil F., Hong T. S., Khaksar W. et al. New robot navigation algorithm for arbitrary unknown dynamic environments based on future prediction and priority behavior. *Expert Systems with Applications*. 2017. Vol. 86. Pp. 274–291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.05.059S>
7. Gravina R., Afinia P., Ghasemzadeh H., Fortino G. Multi-sensor fusion in body sensor networks: state-of-the-art and research challenges. *Information Fusion*. 2017. Vol. 35. Pp. 68–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2016.09.005>
8. Majumder S., Scheduling S., Durrant-Whyte H. F. Multisensor data fusion for underwater navigation. *Robotics and Autonomous Systems*. 2001. Vol. 35. Pp. 97–108. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(00\)00126-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(00)00126-3)
9. Alcocer A., Oliveira P., Pascoal A. Study and implementation of an EKF GIB-based underwater positioning system. *Control Engineering Practice*. 2007. Vol. 15. Pp. 689–701. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2006.04.001>
10. McManus S.J. A method of Navigation using a Modified Ultra Short BaseLine Directional Acoustic Transponder. *Oceans 2007 – Europe*. 2007. DOI: 10.1109/OCEANSE.2007.4302343
11. Thomson D., Elson S. New generation acoustic positioning systems. *Oceans '02 MTS/IEEE*. 2002. Vol. 3. Pp. 1312–1318. DOI: 10.1109/OCEANS.2002.1191828
12. Крестовников К. Д., Ершов А. А., Савельев А. И. Подход к беспроводному заряду аккумуляторной батареи автономных необитаемых подводных аппаратов // Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 4–1(58). С. 144–155. DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2022.58.4.036>
13. Krestovnikov K.D., Ershov A.A., Savelyev A.I. Approach to wireless charging of the battery for autonomous unmanned underwater vehicles. *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii* [Maritime intelligent technologies]. 2022. № 4–1(58). Pp. 144–155. DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2022.58.4.036>. (In Russian)
14. Savateev N.N. Использование спутниковых навигационных систем для определения местоположения объекта под водой // Информационные технологии в образовании. 2021. С. 214–219.
15. Savateev N.N. Utilization of satellite navigation systems for determining the location of underwater objects. *Informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii* [Information technologies in education]. 2021. Pp. 214–219. (In Russian)
16. Spiess F.N., Chadwell C.D., Hildebrand J.A. et al. Precise GPS/Acoustic positioning of seafloor reference points for tectonic studies. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1998. Vol. 108. Pp. 101–112. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9201\(98\)00089-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9201(98)00089-2)
17. Thomas H.G. New advanced underwater navigation techniques based on surface relay buoys. *Proceedings of Oceans'94*. 1994. Vol. 3. Pp. 111–395. DOI: 10.1109/OCEANS.1994.364231
18. Aider O.A., Hoppenot P., Colle E. A model-based method for indoor mobile robot localization using monocular vision and straight-line correspondences. *Robotics and Autonomous Systems*. 2005. Vol. 52. Pp. 229–246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2005.03.002>
19. Carreras M., Ridao P., Garcia R., Nicosevici T. Vision-based localization of an underwater robot in a structured environment. 2003 *IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.03CH37422)*. 2003. Vol. 1. Pp. 971–976. DOI: 10.1109/ROBOT.2003.1241718
20. Liu T., Wan L., Liang X.W. A monocular vision measurement algorithm based on the underwater robot. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 532. Pp. 165–169. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.532.165>

19. Mingjun Z., Shupeng L., Xuan L. Research on technologies of underwater feature extraction and target location based on binocular vision. *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*. IEEE. 2015. Pp. 5778–5784. DOI: 10.1109/CCDC.2015.7161837
20. Jian X., Xiaoyuan C., Xiaoping S., Hang L. Target recognition and location based on binocular vision system of UUV. *2015 34th Chinese Control Conference (CCC)*. IEEE. 2015. Pp. 3959–3963. DOI: 10.1109/ChiCC.2015.7260249
21. Вялков И. К., Тимош П. С. Использование SLAM метода для внутренней навигации с применением AR технологий // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2023. С. 331–333.
Vyalkov I.K., Timosh P.S. Utilization of SLAM method for indoor navigation using AR technologies. *Nauchno-tekhnicheskoye i ekonomicheskoye sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientific-Technical and Economic Cooperation of ATR Countries in the 21st Century]. 2023. Pp. 331–333. (In Russian)
22. Луговской В. В. SLAM как передовой метод навигации и его виды // Инновационная наука. 2023. № 4–2. С. 46–49.
Lugovskoy V.V. SLAM as an Advanced Navigation Method and Its Types. *Innovatsionnaya nauka* [Innovative Science]. 2023. № 4–2. Pp. 46–49. (In Russian)
23. Zhao W., He T., Sani A. Y. M., Yao T. Review of SLAM Techniques For Autonomous Underwater Vehicles. *Proceedings of the 2019 International Conference on Robotics, Intelligent Control and Artificial Intelligence*. 2019. Pp. 384–389. DOI: <https://doi.org/10.1145/3366194.3366262>
24. Hess W., Kohler D., Rapp H., Andor D. Real-time loop closure in 2D LIDAR SLAM. 2016 *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 2016. Pp. 1271–1278. DOI: 10.1109/ICRA.2016.7487258
25. Dubé R., Gawel A., Sommer H. et al. An online multi-robot SLAM system for 3D LiDARs. *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE, 2017. Pp. 1004–1011. DOI: 10.1109/IROS.2017.8202268
26. De Freitas C.M. Autonomous navigation with simultaneous localization and mapping in/outdoor. *CMS de Freitas*. 2020.
27. Paul L., Sot M., Leonard J.J. Decentralized cooperative trajectory estimation for autonomous underwater vehicles. *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE, 2014. Pp. 184–191. DOI:10.1109/IROS.2014.6942559
28. Li Z., Jiang C., Gu X. et al. Collaborative positioning for swarms: A brief survey of vision, LiDAR and wireless sensors based methods. *Defence Technology*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.05.013>
29. Pan X., Kang F., Wang Y. Cooperative navigation for multi-UUV using relative observations. *2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing*. 2010. Vol. 7. Pp. 3191–3194. DOI:10.1109/CISP.2010.5647971
30. Watson S., Duecker D. A., Groves K. Localization of Unmanned Underwater Vehicles (UUVs) in Complex and Confused Environments: A Review. *Sensors*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20216203>
31. Barsha B., Durant-Whyte H.F. Inertial navigation system for mobile robots. *IEEE transactions on robotics and automation*. 1995. Vol. 11. Pp. 328–342. DOI: 10.1109/70.388775
32. Tan H.P., Diamant R., Seah W.K., Waldmeyer M. A survey of techniques and challenges in underwater localization. *Ocean Engineering*. 2011. Vol. 38. Pp. 1663–1676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.07.017>

33. Wu Y., Та X., Xiao R. et al. Survey of underwater robot positioning navigation. *Applied Ocean Research*. 2019. Vol. 90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2019.06.002>

Информация об авторах

Ле Ван Нгиа, специалист, Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия»;

197045, Россия, Санкт-Петербург, Ушаковская набережная, 17/1;

lenghia18071999@gmail.com

Ронжин Андрей Леонидович, д-р техн. наук, профессор, директор, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук;

199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39;

ronzhin@ias.spb.su, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8903-3508>