

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕКООПЕРОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ У ЗАДАЧАХ ОРБІТАЛЬНОГО СЕРВІСУ

Інститут технічної механіки

Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: oafokov@ukr.net

Для вирішення завдань дослідження руху систем орбітального сервісу є необхідним врахування процесу обробки вимірювальної інформації про параметри об'єкта сервісу, який, як правило, є некооперованим, часто з невідомими характеристиками. Метою роботи є систематизація результатів досліджень, присвячених процесу обробки вимірювальної інформації про параметри некооперованих космічних об'єктів. З цією метою проведено аналіз публікацій щодо методів орбітального дистанційного визначення параметрів космічних об'єктів і параметрів їх руху. В результаті роботи дана характеристика розроблених методів. Виділено їх необхідні складові – первісна обробка даних безпосередніх вимірювань, вибір моделей руху центра мас об'єкту і руху навколо центра мас, оцінювання параметрів об'єкта і його руху, засноване на використанні результатів первісної обробки даних і прийнятих моделях динаміки. Сучасні методи орбітального дистанційного визначення параметрів об'єктів використовують в основному дані діапазонного зображення (range imaging). На виході первісної (сурогатної) обробки даних вимірювань отримують, як правило, положення так званих геометричного центра об'єкта та геометричних осей координат. При виборі моделі руху об'єкта сервісу в більшості випадків нехтують орбітальним рухом сервісного космічного апарата і об'єкта. Разом з тим намічається тенденція врахування орбітального руху в подальших дослідженнях. Серед алгоритмів оцінювання параметрів об'єктів орбітального сервісу найбільш часто використання отримали алгоритми на основі фільтрів Калмана різної модифікації. Поряд з цим застосовують й інші методи оцінювання. В даний час зусилля розробників розглянутих методів спрямовані на підвищення точності оцінювання параметрів об'єктів і скорочення часу обчислень. Наведений в роботі аналіз методів орбітального дистанційного визначення характеристик об'єктів сервісу може бути використаний для моделювання руху сервісного космічного апарата і об'єкта обслуговування, а також для оцінки характеристик процесу обробки вимірювальної інформації.

Ключові слова: орбітальний сервіс, некооперований об'єкт, параметри об'єкта, параметри руху, дистанційне визначення.

1. Алпатов А. П. Космический мусор: аспекты проблемы. Техническая механика. 2018. № 1. С. 30–47.
2. Трушляков В. И., Юткин Е. А. Обзор существующих разработок средств спуска крупногабаритного космического мусора как операции обслуживания аппаратов на орбите. Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 50–56.
3. Fehse W. Automated rendezvous and docking of spacecraft. Cambridge : University Press. 2003. P. 486.
4. Kitamura S., Hayakawa Y., Kawamoto S. A reorbiter for GEO large space debris using ion beam irradiation. Proceedings of 32-nd International Electric Propulsion Conference. Wiesbaden, Germany, 2011. P. 13.
5. Lavagna M., Benvenuto R., De Luca L., Maggi F., Tadini P., Graziano M. Contactless active debris removal: the hybrid propulsion alternative. Proceedings of 5-th European Conference for Aerospace Sciences. Munich, 2013. P. 33.
6. Bombardelli C., Pelaez J. Ion Beam Shepherd for Contactless Space Debris Removal, Journal of Guidance, Control and Dynamics. 2011. Vol. 34, № 3. P. 916–920.
7. Clerc X., Retat I. Astrium vision on space debris removal. Proceedings of 63rd International Astronautical Congress. Naples, Italy, 2012. P. 1–5.
8. Martinez H. G., Giorgi G., Eissfeller B. Pose estimation and tracking of non-cooperative rocket bodies using Time-of-Flight cameras. Acta Astronautica. 2017. Vol. 139. P. 165–175.
9. Hillenbrand U., Lampariello R. Motion and parameter estimation of a free-floating space object from range data for motion prediction. Proc. of the 8th Int. Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Spaces. 2005. 26 p.
10. Zhou B-Z., Cai G-P., Liu Y-M., Liu P. Motion Prediction of a Non-Cooperative Space Target. Advances in Space Research. 2017. Vol. 61, № 1. P. 207–222.
11. Соколов Н. Л. Метод определения орбитальных параметров космического мусора бортовыми средствами космического аппарата. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 77 (2014), URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=52950> (дата обращения 28.07.2018).
12. Трещалин А. П. Применение оптико-электронной аппаратуры космических аппаратов для предварительного определения параметров орбит околоземных объектов. Труды МФТИ. 2012. т. 4, № 3. С. 122 – 131.
13. Range imaging [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Range_imaging (дата звернення: 21.04.2018).
14. Діапазонне зображення [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Діапазонне_зображення (дата звернення: 24.08.2018).

15. *Lichter M. D., Dubowsky S.* Estimation of state, shape, and inertial parameters of space objects from sequences of range images. *Intelligent Robots and Computer Vision XXI: Algorithms, Techniques, and Active Vision*, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2003. Vol. 5267, P. 194–205.
16. *Lichter M. D.* Shape, Motion, and Inertial Parameter Estimation of Space Objects using Teams of Cooperative Vision Sensors. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2005. 160 p.
17. *Benninghoff H., Boge T.* Rendezvous involving a non-cooperative, tumbling target - estimation of moments of inertia and center of mass of an unknown target. Conference: International Symposium on Space Flight Dynamics. Munich, Vol. 25. 2015.
18. *Pesce V., Lavagna M., Bevilacqua R.* Stereovision-based pose and inertia estimation of unknown and uncooperative space objects. *Advances in Space Research*. 2017. Vol. 59. P. 236–251.
19. *Doignon C.* An Introduction to Model-Based Pose Estimation and 3-D Tracking Techniques. *Scene Reconstruction, Pose Estimation and Tracking*. Vienna, Austria. 2007. P. 359–382.
20. *Bercovici B., McMahon J.* Point Cloud Processing using Modified Rodrigues Parameters for Relative Navigation. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. 2017. P. 1–8.
21. *Lichter M. D., Dubowsky S.* State, Shape, and Parameter Estimation of Space Objects from Range Images. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation. New Orleans, LA. 2004. P. 2974–2979.
22. *Fischler M. A., Bolles R. C.* Random Sample Consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Commun. ACM* 24. 1981. P. 381–395.
23. *Besl P. J., McKay N. D.* A method for registration of 3-D shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1992. Vol. 14, № 2. P. 239–256.
24. *Clohesy W. H., Wiltshire R. S.* Terminal Guidance System for Satellite Rendezvous. *Journal of the Aerospace Sciences*. 1960. Vol. 27, № 9. P. 653–678.
25. *Gurfil P., Kholosheynikov K.V.* Manifolds and metrics in the relative spacecraft motion problem. *J. Guid. Control Dynamic*. 2006. Vol. 29. P. 1004–1010.
26. *Segal S., Gurfil P.* Effect of kinematic rotation-translation coupling on relative spacecraft translational dynamics. *J Guid Control Dynamic*. 2009. Vol. 32. P.1045–1050.
27. *Tweddle B. E., Saenz-Otero A., Leonard J. J., Miller D. W.* Factor graph modeling of rigid-body dynamics for localization, mapping, and parameter estimation of a spinning object in space. *Journal of Field Robotics*. Vol. 32, № 6. P. 897–933.
28. *Aghili F.* A Prediction and Motion-Planning Scheme for Visually Guided Robotic Capturing of Free-Floating Tumbling Objects With Uncertain Dynamics. *IEEE Transactions On Robotics*. 2012. Vol. 28, № 3. P. 634–649.
29. *Brown R. G., Hwang P. Y. C.* Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, 2nd Ed., New York: John Wiley & Sons, 1992. 512 p.
30. *Julier S. J., Uhlmann J. K.* A New Extension of the Kalman Filter to Nonlinear Systems. Proceedings of AeroSense: The 11th International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls, Orlando, Florida. 1997. P. 182–193.
31. *Sidi M. J.* Spacecraft Dynamics and Control: a Practical Engineering Approach. New York: Cambridge University Press. 1997. 428 p.
32. *Nocedal W., Wright S. J.* Numerical Optimization. Springer Series in Operations Research. Springer, New York, 1999. 651 p.
33. *Smith R. C., Cheeseman P.* On the Representation and Estimation of Spatial Uncertainty. *International Journal of Robotics Research*. 1987. Vol. 5, № 4. P. 56–68.
34. *Sujan V., Dubowsky S.* Visually Built Task Models for Robot Teams in Unstructured Environments. Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2002). Washington D.C., May 11-15, 2002. Vol. 2. P. 1782–1787.

Отримано 20.09.2018,
в остаточному варіанті 19.12.2018.