Зеркальные антенны в космических системах

УДК 629.78

С.Ю. ЗЯБРИКОВ, аспирант кафедры телекоммуникаций института радиоэлектроники и информатики ФГБОУ ВО "МИРЭА — Российский технологический университет", Н.Е. ЧЕРНЯВСКАЯ, старший преподаватель кафедры иностранных языков

Зеркальные антенны в космических системах
Mirror Antennas in Space Systems

В работе представлены технологии разворачиваемых зеркальных антенн в космических системах. Дан обзор областей применения и назначений данного типа устройств.

Рассмотрены различные технологии, применяемые в настоящее время. Проведен анализ применимости, достоинства и недостатки каждого типа антенн. Сделаны выводы о перспективах дальнейшего развития данной тематики.

The paper presents technologies of deployable reflector antennas for space systems. An overview of the applications and purposes of this type of device is provided.

Various currently used technologies are examined. An analysis of the applicability, advantages, and disadvantages of each antenna type is conducted. Conclusions are drawn regarding the prospects for further development in this field.

Ключевые слова: разворачиваемые рефлекторы, адаптивная оптика, гибкие зеркальные антенны.
Keywords: *deployable reflectors, adaptive optics, flexible mirror antennas.*

Введение

Разворачиваемые зеркальные системы — одна из ключевых технологий, определяющих современный прогресс в области космических аппаратов различного назначения. Анализ литературных источников последних лет, включая научные статьи, патенты, обзоры миссий и технологических решений, позволяет выделить несколько стратегических направлений использования разворачиваемых антенн и зеркал в космосе.

Радиосвязь и передача данных. Самое массовое применение разворачиваемые зеркала находят в системах и ретрансляторах, предназначенных для обеспечения спутниковой связи, передачи данных и других.

Крупногабаритные раскрывающиеся антенны позволяют значительно увеличить площадь рабочей отражающей поверхности при минимальных габаритах в транспортном положении, что критично для спутников на геостационарной и средней околоземной орбитах. Это обеспечивает поддержку широкополосных каналов, межспутниковых лазерных и радиолиний (например, в проектах Starlink, Inmarsat, современных коммуникационных спутниках).

Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ). Системы радиолокационного зондирования с синтезированной апертурой используют большие разворачиваемые зеркала для повышения разрешающей способности и охвата, позволяя спутникам (Capella Space, ICEYE, Sentinel-6, Copernicus) получать сложные многоуровневые изображения поверхности Земли в различных диапазонах.

Системы ДЗЗ востребованы в гидрологии, при мониторинге ледяного покрова, состояния лесов, почв, земледелия, обнаружения пожаров. Легкость и компактность решений, реализованных с помощью разворачиваемых конструкций, позволяют активно тиражировать такие спутники и делать их частью крупномасштабных орбитальных группировок.

Астрофизика и космические телескопы. Глобальные астрономические проекты, такие как James Webb Space Telescope (JWST), RadioAstron и специализированные миссии по исследованию глубокого космоса, опираются на технологии разворачиваемых и трансформируемых зеркал как базовый элемент новой техники наблюдения. Разворачиваемые зеркала позволяют запускать аппараты с диаметром апертуры, превышающим возможность традиционных ракет-носителей (диаметр сегментированного зеркала JWST составляет 6,5 метра, RadioAstron до 10 метров). После вывода на орбиту такие системы раскрываются, достигая необходимых параметров без ущерба для массогабаритных характеристик.

Спутниковая квантовая связь и научные эксперименты. Разворачиваемые зеркала становятся основой новых классов оптических ретрансляторов, использующих лазерные линии для передачи квантовой информации и высокоскоростных научных данных (например, спутники типа Micius обеспечивают проведение исследований квантового шифрования и вычислений).

Статью целиком читайте в бумажной версии журнала

ЗЕРКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ В КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

MIRROR ANTENNAS IN SPACE SYSTEMS

УДК 629.78

ЗЯБРИКОВ Сергей Юрьевич (аспирант), **ЧЕРНЯВСКАЯ Наталья Евгеньевна**
(ФГБОУ ВО "МИРЭА — Российский технологический университет")

В работе представлены технологии разворачиваемых зеркальных антенн в космических системах. Дан обзор областей применения и назначений данного типа устройств. Рассмотрены различные технологии, применяемые в настоящее время. Проведен анализ применимости, достоинства и недостатки каждого типа антенн. Сделаны выводы о перспективах дальнейшего развития данной тематики.

The paper presents technologies of deployable reflector antennas for space systems. An overview of the applications and purposes of this type of device is provided. Various currently used technologies are examined. An analysis of the applicability, advantages, and disadvantages of each antenna type is conducted. Conclusions are drawn regarding the prospects for further development in this field.

Ключевые слова: разворачиваемые рефлекторы, адаптивная оптика, гибкие зеркальные антенны.
Keywords: *deployable reflectors, adaptive optics, flexible mirror antennas.*

Литература

1. 1. Ilcev S. D. Global Mobile Satellite Communications Theory For Maritime, Land and Aeronautical Applications. - International Publishing Switzerland: Springer Cham. 2017. 599 p.
2. Aguilar, A., Butler, P., Collins, J., Guerster, M., Kristinsson, et al. Tradespace Exploration of the Next Generation Communication Satellites/ Proceedings of the AIAA Scitech Forum./ American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). San Diego, California. 2019. № 1.
3. Castelletti D., Farquharson G., Stringham C., Duersch M., Eddy D. Capella Space First Operational SAR Satellite./ Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)./ IEEE. Brussels, Belgium. 2021. P. 1483 - 1486.
4. Farquharson G., Castelletti D., Stringham C., Duersch M., Eddy D. The New Capella Space Satellite Generation: Acadia./ Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)./ IEEE. Pasadena, CA, USA. 2023. P. 1513 - 1516.
5. Castelletti D., Farquharson G., Stringham C., Duersch M., Eddy D. Capella Space VHR SAR Constellation: Advanced Tasking Patterns and Future Capabilities./ Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)./ IEEE. Kuala Lumpur, Malaysia. 2022. P. 4137 - 4140.
6. Ignatenko V., Laurila P., Radius A., Lamentowski L., Antropov O., et al. ICEYE Microsatellite SAR Constellation Status Update: Evaluation of First Commercial Imaging Modes./ Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)./ IEEE. Waikoloa, HI, USA. 2020. P. 3581 - 3584.
7. Muff D., Laurila P., Radius A., Antropov O., Lamentowski L., et al. The ICEYE Constellation - Some New Achievements./ Proceedings of the Radar Conference (RadarConf22)./ IEEE. New York City, NY, USA. 2022. P. 1 - 4.
8. Кардашев Н.С., Хартов В.В., Абрамов В.В. и др. РадиоАстрон - телескоп размером 300 000 км: основные параметры и первые результаты наблюдений// Астрономический вестник. 2013. Т. 57. С. 153 - 194.
9. Gardner J.-P., Mather J.-C., Clampin M., et al. The James Webb Space Telescope// Space Science Reviews. 2006. Vol. 123. Pp. 485 - 606.
10. Gardner J.-P., Mather J.-C., Clampin M., Doyon R., Greenhouse M.-A., et al. The James Webb Space Telescope Mission // Publications of the Astronomical Society of the Pacific. 2023. 135 (1048). Pp. 068001.
11. Feinberg L.-D., Clampin M., Keski-Kuha R., Atkinson C., Texter S., et al. James Webb Space Telescope optical telescope element mirror development history and results./ Proceedings of the SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation./ Amsterdam, Netherlands. 2012. Pp 84422B.
12. Chaudhry A.-U., Yanikomeroglu H. Laser Intersatellite Links in a Starlink Constellation: A Classification and Analysis// IEEE Vehicular Technology Magazine. June 2021. Vol. 16. № 2. Pp. 48 - 56.
13. Michel F., Trevisan M., Giordano D., Bonaventure O. A first look at starlink performance./ Proceedings of the 22nd Internet Measurement Conference (IMC'22). ACM. New York, NY, USA. 2022. Pp. 130 - 136.
14. Donlon C.-J., Cullen R., Giulicchi L., Fornari M., Vuilleumier P. The Copernicus Sentinel-6 mission: Enhanced continuity of satellite sea level measurements from space// Remote Sensing of Environment. 2021. Vol. 258. 112395.
15. Jiang M., Xu K., Wang J. Evaluation of Sentinel-6 Altimetry Data over Ocean// Remote Sensing. 2023. № 15(1). 12.
16. Donlon C., Cullen R., Giulicchi L., Fornari M., Vuilleumier P. Copernicus Sentinel-6 Michael Freilich Satellite Mission: Overview and Preliminary in Orbit Results./ Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)./ IEEE. Brussels, Belgium. 2021. P. 7732 - 7735.
17. Maiwald F., Aksoy A., Lowman A., Yilmaz M., D'Errico R., et al. Completion of the AMR-C Instrument for Sentinel-6// IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2020. Vol. 13. Pp. 1811 - 1818.
18. Crétaux J.-F., Bergé-Nguyen M., Calmant S., Jamangulova N., Satylkanov R., et al. Absolute Calibration or Validation of the Altimeters on the Sentinel-3A and the Jason-3 over Lake Issykkul (Kyrgyzstan) // Remote Sens., 2018, 10(11), 1679.

19. Yang J., Zhang J. Validation of Sentinel-3A/3B Satellite Altimetry Wave Heights with Buoy and Jason-3 Data// Sensors. 2019. № 19. 2914.
20. Lu Chao-Yang, Cao Yuan, Peng Cheng-Zhi, Pan Jian-Wei. Micius quantum experiments in space// Rev. Mod. Phys., vol. 94, 035001, 2022.
21. Yin J., Ren J., Liao S., Cao Y., Cai W., et al. Quantum Science Experiments with Micius Satellite./ Proceedings of the Conference on Lasers and Electro-Optics./ OSA Technical Digest. 2019.
22. Escobar U.-S., Daugherty R.-P., Roychowdhury S., Sielman D., Feimes K., et al. Development of a Deployable Optical Receive Aperture./ Proceedings of the Aerospace Conference (AERO)./ IEEE. Big Sky, MT, USA. 2022. Pp. 1 - 8.
23. Rabien S. Adaptive Parabolic Membrane Mirrors for Large Deployable Space Telescopes// Applied Optics. 2023. Vol. 62. Issue 11. Pp. 2836 - 2844.
24. Bastaits R., Rodrigues G., Jetteur Ph., Hagedorn P. and Preumont A. Multi-layer adaptive thin shells for future space telescopes// IOP Publishing Ltd. Smart Materials and Structures. 2012. Vol. 21. № 6.
25. Duan B., Gao F., Du J., et al. Optimization and experiment of an electrostatic forming membrane reflector in space// Journal of Mechanical Science and Technology. 2015. № 29. Pp. 1355 - 1360.
26. Резник С.В., Чубанов Д.Е. Моделирование динамики раскрытия крупногабаритного трансформируемого рефлектора космической антенны из композиционного материала// Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 4. С. 411 - 425.
27. Охоткин К.Г., Власов А.Ю., Захаров Ю.В., Аннин Б.Д. Аналитическое моделирование гибкого обода рефлекторов космических антенн// Прикладная механика и техническая физика. 2017. № 5. С. 190 - 200.
28. Li T.-J., Jiang J., Shen T.-T. and Wang Z.-W. Analysis of Mechanical Properties of Wire Mesh for Mesh Reflectors by Fractal Mechanics// International Journal of Mechanical Sciences. March 2015. Vol. 92. Pp. 90 - 97.
29. Zhang Y., Zhang H., Yang D., Qin Q., Zhu R. Form-Finding Design of Cable-Mesh Deployable Reflector Antennas Considering Wire Mesh Properties// American Institute of Aeronautics and Astronautics. Nov. 2019. Vol. 57. № 11. Pp. 5027 - 5041.
30. Jape S., Garza M., Ruff J., et al. Self-foldable origami reflector antenna enabled by shape memory polymer actuation// Smart Materials and Structures. 23 Sep., 2020. Vol. 29. № 11. P. 115011.
31. Song, Z., Zhu, J.-F., Wang, X., et al. Origami metamaterials for ultra-wideband and large-depth reflection modulation// Nature Communications. 2024. № 15. P. 3181.