

УДК 004.89

А. И. КРУГЛОВ

КЛАССИФИКАЦИЯ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

В данной статье рассматривается классификация мобильных робототехнических систем в зависимости от их среды та сферы использования, кинематики, класса, а также типу керування. Для наземных мобильных роботов также выделены подклассы, проведен анализ их переваг та недоліків. Проанализовано вибір типу керування в залежності від сфери використання робота. Результаты могут быть использованы для выбора або розробки власної мобільної робототехнічної системи.

Ключові слова: робототехнічні системи, наземні мобільні роботи, сфера та среда використання, типи керування.

В данной статье рассматриваются классификации мобильных робототехнических систем в зависимости от их среды и сферы применения, кинематики, класса, а также типа управления. Для наземных мобильных роботов также выделены подклассы, проведен анализ их преимуществ и недостатков. Проанализирован выбор типа управления в зависимости от среды применения робота. Результаты могут быть использованы для выбора или разработки собственной мобильной робототехнической системы.

Ключевые слова: робототехнические системы, наземные мобильные роботы, сфера и среда применения, типы управления.

The development of artificial intelligence technologies suggests a wide implementation of robotic systems in different branches of industry, infrastructure and human life. In this paper classification of mobile robotic systems is given depending on their application sphere and environment (indoor/outdoor), kinematics, class (aerial, ground, water or hybrid), control type, mass and size. Highlighted kinematics subclasses for ground mobile robots: wheeled, caterpillar, legged, biomorphic, composite and hybrid robots. Analyzed and shown their advantages and disadvantages such as speed and passability. Analyzed what control type to choose depending on robot sphere of appliance: from human-controlled to automated, semiautonomous and fully autonomous.

Results and recommendations can be used to choose or develop one's own mobile robotic system, its software and control type based on desired goal, using analysis and systematic approach presented in this article.

Keywords: robotic systems, ground mobile robots, application sphere and environment, types of control.

Введение. Развитие технологии искусственного интеллекта предполагает широкое внедрение роботов в различные отрасли промышленности, инфраструктуры и жизнедеятельности человека. Принятие решений в выборе или разработке той или иной робототехнической системы базируется на анализе и использовании системного подхода. Первым этапом является систематизация существующих решений, выделение значимых признаков и определение преимуществ и недостатков таких решений.

Классификация робототехнических систем. Согласно Згуровскому М. З. – сегодня происходит информационная революция: переход общества от индустриального к информационному, а в дальнейшем ожидается его преобразование в общество знаний. По разным оценкам, 30–60 % рабочих мест будет заменено робототехническими системами к 2035 году. В

связи с этим, необходимо изучать и развивать направления, связанные с робототехникой, в частности – мобильными робототехническими системами. Для выбора того или иного робота, необходимо провести анализ и классификацию существующих решений, а также выявить их преимущества и недостатки.

Робототехнические системы классифицируют на манипуляционные (стационарные) и мобильные (способные самостоятельно передвигаться). Мобильные роботы (МР) разделяют в зависимости от их класса, кинематики, среды применения, сферы применения и типа управления [1, 2]. В первом случае выделяют наземные, воздушные (самолет [16], вертолет [6, 11], дирижабль [13], крылья [14, 15]), водные (подводные [7, 8] и надводные [9, 10]) и гибридные [12], а также иногда в отдельные класс выделяют космические [49] МР.



Рис. 1 – Наземный, воздушный и водный классы МР

Поскольку наземные роботы являются наиболее распространенными, их также классифицируют по кинематике: шагоходы, колесные, гусеничные [28], биоморфные [30], а также композитные [12, 31, 33] и гибридные [29]. Хотя шагоходных роботов и можно отнести к биоморфным (подобных животным), они выделяются в отдельную группу и классифицируются в зависимости от количества ног: одноногие [17], бипедальные (андроиды) [18, 19], четырехногие [21, 22],

паукообразные (6–ногий “гексапод” [20] и 8–ногий “октапод” [23]). Колесных МР можно классифицировать в зависимости от количества колес: двух– [27], трех– [25], четырех–колесные [24, 26, 51] и другие [37]. С одной стороны, преимуществом шагоходных роботов над колесными является их проходимость (возможность перемещаться по лестницам и прочим проблемным рельефам), с другой – они не способны развивать скорость, доступную колесным.

© А. И. Круглов. 2017

В связи с этим, дополнительный интерес вызывают гибриды шагоходных и колесных роботов [27, 32]. Гусеничные роботы близки к колесным и, хотя уступают им в скорости, с другой стороны – имеют большую проходимость и устойчивость. Биоморфные и композитные роботы обычно имеют более специализированное предназначение. Так, если биоморфные МР зачастую используются в исследованиях для имитирования передвижения живых организмов (змей, мух и других), то композитные МР чаще применяются для моделирования поведения мультиагентных систем, взаимодействий в группе или трансформации группы небольших роботов в более крупные группы [33].

Далее рассмотрим классификацию МР по их среде применения [4]: домашние роботы (функционируют в замкнутом, структурированном пространстве) [45] и уличные роботы (применяются в динамически меняющемся, не структурированном пространстве). В свою очередь, домашних роботов классифицируют по следующим типам:

- транспортировка и обслуживание [27, 45];
- помощь клиентам (музеи, магазины) [19, 52];
- персональные помощники [44];
- уборка (помещений и зданий) [35];
- исследования, развлечения, игрушки [43, 17], обучение [44];
- охрана [34].

Уличных роботов классифицируют по следующим типам:

- космонавтика [36, 37];
- лес [40];
- горная добыча [39];
- сельское хозяйство [38];
- трубопроводы [28, 42];
- строительство [41];
- вода [46];
- пожаротушение [47];
- военные [20, 29, 40].

Также, МР классифицируют по их сфере применения [1, 3]:

- индустриальные/промышленные [38, 39, 41];
- обслуживающие [16, 28, 42];
- бытовые [35, 44, 51];
- развлекательные, спортивные [27, 43, 44];
- исследовательские [9, 30, 31, 46];
- космические [36, 37];
- для военных и военизированных целей [22, 48, 49];
- для экстремальных ситуаций [20, 24, 40, 47].

МР по типу управления можно разделить на управляемые оператором [20, 50, 51], автоматизированные [11, 12, 17, 19], полуавтономные [13, 24, 26,

29], автономные [16, 22, 25, 30, 31, 34, 35, 42, 47]. МР управляемые оператором уязвимы к потере управляющего сигнала, что существенно ограничивает область их применения. Автоматизированные роботы имеют базовые вспомогательные и контролирующие программы для упрощения работы оператора. В случае полуавтономного управления робот должен быть способен восстановить сигнал (например, вернувшись в исходную позицию) либо продолжить выполнять поставленную задачу без участия оператора. Это приводит к автономным роботам – роботам, способным действовать независимо от оператора. Авторы статьи [49] утверждают что переход напрямую от управляемого оператором МР к автономному невозможен и автономность должна быть заложена изначально, а также рассматривают следующую градацию управления: управляется человеком, человеческое содействие, делегировано человеком, человек–супервайзер, комбинированная инициатива и полная автономность.

Таким образом, в зависимости от сферы и среды применения следует выбирать подходящий тип управления, исходя из полуавтономного: полная автономность в случае критичности перехвата управляющего сигнала и угона робота злоумышленниками или невозможности передачи управляющего сигнала; полная управляемость – в случае узкоспециализированного или исследовательского применения МР. Очевидно, что развитие интеллектуальных робототехнических систем идет в сторону полной автономности.

Также МР можно классифицировать в соответствии с их размером: на нанороботы (менее 100 нм.), микророботы (менее 3 см.), а также маленькие (менее 50 см.), средние (менее 3 м.) [35] и большие роботы. Данная классификация также коррелирует с их весовой классификацией: сверхлегкие (до 1 кг.), легкие (до 150 кг.) [35], средние (до 1 т.), тяжелые (до 10 т.) и большие роботы [49]. Обычно, данные классификации зависят от объема энергии, доступного роботу для выполнения необходимых задач.

Выводы. Выбор для разработки или покупки конкретного мобильного робота должен быть связан со средой и сферой его применения, а также с задачами, которые он должен будет выполнять. Важно, чтобы робот и его программное обеспечение были модульными для легкой модернизации и замены вышедших из строя комплектующих. Предпочтение стоит отдавать автономной или полуавтономной системе управления, а интеллекта мобильного робота должно быть достаточно для выполнения необходимых задач.

Список литературы:

1. Zhang, H. Mobile Robotics [Electronic resource] / H. Zhang // Available at: https://tams.informatik.uni-hamburg.de/lehre/2010ss/seminar/ir/PDF/MobilerobotLecture3_Review%20on%20mobile%20robot.pdf
2. Пройдаков, Э. М. Классификация мобильных роботов [Электронный ресурс] / Э. М. Пройдаков // Режим доступа: <https://postnauka.ru/video/34424>
3. Астапкович, А. М. Мобильные роботы и комплексы на их основе [Текст] / А. М. Астапкович, М. Б. Сергеев // Экстремальная робототехника. – СПб., 2003.
4. Kapila, V. Introduction to Robotics [Electronic resource] / V. Kapila // Available at: <http://engineering.nyu.edu/mechatronics/smart/pdf/Intro2Robotics.pdf>
5. Васильев, А. В. Обобщенная классификация мобильных роботов [Текст] / А. В. Васильев // Экстремальная робототехника. – 2014. – С. 41–45.
6. Bülthoff, H. H. Flying Robots and Flying Cars [Electronic resource] / H. H. Bülthoff // Available at: http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/fileadmin/user_upload/files/publications/2012/KAIST-2012-key.pdf

7. *Giguere, P.* Wide-Speed Autopilot System for a Swimming Hexapod Robot [Text] / *P. Giguere, Y. Girdhar, G. Dudek* // 2013 International Conference on Computer and Robot Vision. – 2013. doi: [10.1109/crv.2013.13](https://doi.org/10.1109/crv.2013.13)
8. *Meger, D.* 3D trajectory synthesis and control for a legged swimming robot [Text] / *D. Meger, F. Shkurti, D. C. Poza, P. Giguere, G. Dudek* // 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2014. doi: [10.1109/iros.2014.6942867](https://doi.org/10.1109/iros.2014.6942867)
9. *Floyd, S.* A Novel Water Running Robot Inspired by Basilisk Lizards [Text] / *S. Floyd, T. Keegan, J. Palmisano, M. Sitti* // 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2006. doi: [10.1109/iros.2006.282111](https://doi.org/10.1109/iros.2006.282111)
10. *Suhr, S. H.* Biologically Inspired Miniature Water Strider Robot [Text] / *S. H. Suhr, Y. Seong Song, S. J. Lee, M. Sitti* // Robotics: Science and Systems I. – 2005. doi: [10.15607/rss.2005.i.042](https://doi.org/10.15607/rss.2005.i.042)
11. *Borenstein, J.* The HoverBot C An Electrically Powered Flying Robot [Electronic resource] / *J. Borenstein* // Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.9.8963&rep=rep1&type=pdf>
12. *Araki, B.* Multi-robot path planning for a swarm of robots that can both fly and drive [Text] / *B. Araki, J. Strang, S. Pohorecky, C. Qiu, T. Naegele, D. Rus* // 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2017. doi: [10.1109/icra.2017.7989657](https://doi.org/10.1109/icra.2017.7989657)
13. *Alkurdi, L. M.* Visual Control of an Autonomous Indoor Robotic Blimp [Text] / *L. M. Alkurdi, R. B. Fisher* // Robotic Vision: Technologies for Machine Learning and Vision Applications. – 2013. – P. 352–370. doi: [10.4018/978-1-4666-2672-0.ch019](https://doi.org/10.4018/978-1-4666-2672-0.ch019)
14. *Karpelson, M.* Energetics of flapping-wing robotic insects: towards autonomous hovering flight [Text] / *M. Karpelson, J. P. Whitney, G.-Y. Wei, R. J. Wood* // 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2010. doi: [10.1109/iros.2010.5650269](https://doi.org/10.1109/iros.2010.5650269)
15. *Baek, S. S.* Flight control for target seeking by 13 gram ornithopter [Text] / *S. S. Baek, F. L. G. Bermudez, R. S. Fearing* // 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2011. doi: [10.1109/iros.2011.6048246](https://doi.org/10.1109/iros.2011.6048246)
16. *Temizer, S.* Collision Avoidance for Unmanned Aircraft using Markov Decision Processes* [Text] / *S. Temizer, M. Kochenderfer, L. Kaelbling, T. Lozano-Perez, J. Kuchar* // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. – 2010. doi: [10.2514/6.2010-8040](https://doi.org/10.2514/6.2010-8040)
17. *Poulakakis, I.* Modeling and control of the monopodal robot Thumper [Text] / *I. Poulakakis, J. W. Grizzle* // 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2009. doi: [10.1109/robot.2009.5152708](https://doi.org/10.1109/robot.2009.5152708)
18. *Wahde, M.* A brief review of bipedal robotics research [Text] / *M. Wahde, J. Pettersson* // 8th Mechatronics Forum International Conference. – 2002.
19. *Kim, J.-Y.* Experimental realization of dynamic walking of the biped humanoid robot KHR-2 using zero moment point feedback and inertial measurement [Text] / *J.-Y. Kim, I.-W. Park, J.-H. Oh* // Advanced Robotics. – 2006. – Vol. 20, Issue 6. – P. 707–736. doi: [10.1163/15685530677361622](https://doi.org/10.1163/15685530677361622)
20. *Ahmed, M.* Walking Hexapod Robot in Disaster Recovery: Developing Algorithm for Terrain Negotiation and Navigation [Text] / *M. Ahmed, M. R. M. Billah, S. Farh* // New Advanced Technologies. – 2010. doi: [10.5772/9437](https://doi.org/10.5772/9437)
21. *Oak, S.* Design, Analysis and Fabrication of Quadraped Robot with Four bar Chain Leg Mechanism [Text] / *S. Oak, V. Narwane* // International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. – 2014. – Vol. 1, Issue 6. – P. 340–345.
22. *Schmidt, A.* Legged Robotics & BigDog. Marc Raibert: Boston Dynamics [Electronic resource] / *A. Schmidt* // Available at: https://webpages.uncc.edu/~jmconrad/ECGR6185-2008-01/notes/BigDogRobot_Presentation.pdf
23. *Ma, H. W.* Design of a Crab-Like Octopod Robot [Text] / *H. W. Ma, L. Q. Wang, D. L. Chen, X. W. Hao, H. W. Luo* // Applied Mechanics and Materials. – 2008. – Vol. 10-12. – P. 263–266. doi: [10.4028/www.scientific.net/amm.10-12.263](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.10-12.263)
24. *Mir-Nasiri, N.* New Intelligent Transmission Concept for Hybrid Mobile Robot Speed Control [Text] / *N. Mir-Nasiri, S. Hussaini* // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2005. – Vol. 2, Issue 3. – P. 27. doi: [10.5772/5784](https://doi.org/10.5772/5784)
25. *Pandey, A.* Modeling and Control of an Autonomous Three Wheeled Mobile Robot with Front Steer [Text] / *A. Pandey, S. Jha, D. Chakravarty* // 2017 First IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC). – 2017. doi: [10.1109/irc.2017.67](https://doi.org/10.1109/irc.2017.67)
26. *Wasuntapichaikul, P.* Implementation of torque controller for brushless motors on the omni-directional wheeled mobile robot [Electronic resource] / *P. Wasuntapichaikul, K. Sukvichai, Y. Tipsuwan* // Available at: <https://arxiv.org/abs/1708.02271>
27. *Lee, G. H.* Line Tracking Control of a Two-Wheeled Mobile Robot Using Visual Feedback [Text] / *G. H. Lee, S. Jung* // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Vol. 10, Issue 3. – P. 177. doi: [10.5772/53729](https://doi.org/10.5772/53729)
28. *Giergiel, M.* The Mathematical Description of the Robot for the Tank Inspection [Text] / *M. Giergiel, T. Buratowski, P. Malka* // Mechanics and Mechanical Engineering. – 2011. – Vol. 15, Issue 4. – P. 53–60.
29. *Schwarz, M.* Hybrid driving-stepping locomotion with the wheeled-legged robot Momaro [Text] / *M. Schwarz, T. Rodehutsors, M. Schreiber, S. Behnke* // 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2016. doi: [10.1109/icra.2016.7487776](https://doi.org/10.1109/icra.2016.7487776)
30. *Xiao, X.* Locomotive reduction for snake robots [Text] / *X. Xiao, E. Cappel, W. Zhen, J. Dai, K. Sun, C. Gong et al.* // 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2015. doi: [10.1109/icra.2015.7139718](https://doi.org/10.1109/icra.2015.7139718)
31. *Xian-yi, C.* Study of Self-Organization Model of Multiple Mobile Robot [Text] / *C. Xian-yi, L. Shu-qin, X. De-shen* // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2005. – Vol. 2, Issue 3. – P. 23. doi: [10.5772/5785](https://doi.org/10.5772/5785)
32. *Owano, N.* Handle: Boston Dynamics robot on wheels performs on stage [Electronic resource] / *N. Owano* // Available at: <https://techxplore.com/news/2017-02-boston-dynamics-robot-wheels-stage.html>
33. *Yan, Z.* A Survey and Analysis of Multi-Robot Coordination [Text] / *Z. Yan, N. Jouandeau, A. A. Cherif* // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Vol. 10, Issue 12. – P. 399. doi: [10.5772/57313](https://doi.org/10.5772/57313)
34. *Chavan, D.* A Surveillance Robot with Climbing Capabilities for Home Security [Text] / *D. Chavan, S. A. Annadate* // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. – 2013. – Vol. 2, Issue 11. – P. 291–296.
35. *Khalid, U.* Smart Floor Cleaning Robot (CLEAR) [Electronic resource] / *U. Khalid, M. F. Baloch, H. Haider, M. U. Sardar et al.* // Available at: <http://www.standardsuniversity.org/wp-content/uploads/Smart-Floor-Cleaning-Robot-CLEAR.pdf>
36. *Pedersen, L.* A Survey Of Space Robotics [Electronic resource] / *L. Pedersen, D. Kortenkamp, D. Wettergreen, I. Nourbakhsh* // Available at: http://wayback.archive-it.org/1792/20100207195709/http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20030054507_2003061124.pdf
37. *Заборовский, В. С.* Космическая робототехника: от автономных устройств к кибер-физическим системам [Текст] / *В. С. Заборовский*. – СПб.: Ленэксп, 2013. – 18 с.
38. *Шаныгин, С. В.* Роботы, как средство механизации сельского хозяйства сельхоз [Текст] / *С. В. Шаныгин* // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – № 3. – С. 39–42.
39. *Кауркин, И. А.* Роботизация в горнодобывающей промышленности [Текст] / *И. А. Кауркин* // IX Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ». – 2017. – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2017/RM17/pages/Articles/0305006-.pdf>
40. *Коршунов, Н.* Воздушные роботы призваны на защиту и охрану лесов [Электронный ресурс] / *Н. Коршунов* // Лесной патруль. – Режим доступа: <https://fpatrol.ru/vozdushnye-roboty-prizvany-na-zashhitu-i-oxranu-lesov-n-korshunov/>
41. *Мишук, Д.* Огляд та аналіз конструкцій роботів для будівельних робіт [Текст] / *Д. Мишук* // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2013. – № 82. – С. 28–37.
42. *Kim, J.-H.* FAMPER: A fully autonomous mobile robot for pipeline exploration [Text] / *J.-H. Kim, G. Sharma, S. S. Iyengar* // 2010 IEEE International Conference on Industrial Technology. – 2010. doi: [10.1109/icit.2010.5472748](https://doi.org/10.1109/icit.2010.5472748)
43. *Varsani, J.* Robotic Football [Electronic resource] / *J. Varsani* // BSc (Hons) Computing Session. – 2002. – Available at: https://minerva.leeds.ac.uk/bcswebdav/orgs/SCH_Computing/FYProj/reports/0203/Varsani.pdf
44. *Ding, I.-J.* On the Use of Kinect Sensors to Design a Sport Instructor Robot for Rehabilitation and Exercise Training of the Elderly [Text] / *I.-J. Ding, Y.-J. Chang* // Sensors and Materials. – 2016. doi: [10.18494/sam.2016.1302](https://doi.org/10.18494/sam.2016.1302)

45. Prassler, E. Domestic Robotics [Text] / E. Prassler, K. Kosuge // Springer Handbook of Robotics. – 2008. – P. 1253–1281. doi: [10.1007/978-3-540-30301-5_55](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_55)
46. Rida, P. An Introduction to Applied Underwater Robotics [Electronic resource] / P. Rida // Available at: <http://www.irs.uji.es/trident/files/SIE017-Seminario-PRida.pdf>
47. Hassanein, A. An autonomous firefighting robot [Text] / A. Hassanein, M. Elhawary, N. Jaber, M. El-Abd // 2015 International Conference on Advanced Robotics (ICAR). – 2015. doi: [10.1109/icar.2015.7251507](https://doi.org/10.1109/icar.2015.7251507)
48. Simon, P. Military Robotics: Latest Trends and Spatial Grasp Solutions [Text] / P. Simon // International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 4, Issue 4. doi: [10.14569/ijarai.2015.040402](https://doi.org/10.14569/ijarai.2015.040402)
49. Finkelstein, R. Military robotics: malignant machines or the path to peace? [Electronic resource] / R. Finkelstein // Available at: <https://roboticstechnologyinc.com/images/upload/file/Presentation%20Military%20Robotics%20Overview%20Jan%202010.pdf>
50. Phung, M. D. Localization of Internet-based Mobile Robot [Electronic resource] / M. D. Phung, T. T. Van Nguyen, T. H. Tran, Q. V. Tran // Available at: <https://arxiv.org/abs/1703.03649>
51. Villani, V. Interacting With a Mobile Robot with a Natural Infrastructure-Less Interface [Text] / V. Villani, L. Sabatini, G. Riggio, A. Levratti, C. Secchi, C. Fantuzzi // IFAC-PapersOnLine. – 2017. – Vol. 50, Issue 1. – P. 12753–12758. doi: [10.1016/j.ifacol.2017.08.1829](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1829)
52. Burgard, W. The Interactive Museum Tour-Guide Robot [Text] / W. Burgard, A. B. Cremers, D. Fox, D. Hahnel // AAAI-98 Proceedings. – 1998. – Available at: <https://www.aaai.org/Papers/AAAI/1998/AAAI98-002.pdf>
53. Цумбал, О. М. Адаптивність у прийнятті рішень роботів [Текст] / О. М. Цумбал, А. І. Бронніков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 4, № 4 (52). – С. 40–43. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/ejeet/article/viewFile/1389/1287>

Bibliography (transliterated):

1. Zhang, H. Mobile Robotics. Available at: https://tams.informatik.uni-hamburg.de/lehre/2010ss/seminar/ir/PDF/MobilerobotLecture3_Review%20on%20mobile%20robot.pdf
2. Proydakov, E. M. Klassifikatsiya mobil'nyh robotov. Available at: <https://postnauka.ru/video/34424>
3. Astapovich, A. M., Sergeev, M. B. (2003). Mobil'nyy roboty i komplekсы na ih osnove. Ekstremal'naya robototekhnika. Sankt-Peterburg.
4. Kapila, V. Introduction to Robotics. Available at: <http://engineering.nyu.edu/mechatronics/smart/pdf/Intro2Robotics.pdf>
5. Vasil'ev, A. V. (2014). Obobshchennaya klassifikatsiya mobil'nyh robotov. Ekstremal'naya robototekhnika, 41–45.
6. Bühlhoff, H. H. Flying Robots and Flying Cars. Available at: http://www.kyb.tuebingen.mpg.de/fileadmin/user_upload/files/publications/2012/KAIST-2012-key.pdf
7. Giguere, P., Girdhar, Y., Dudek, G. (2013). Wide-Speed Autopilot System for a Swimming Hexapod Robot. 2013 International Conference on Computer and Robot Vision. doi: [10.1109/crv.2013.13](https://doi.org/10.1109/crv.2013.13)
8. Meger, D., Shkurti, F., Poza, D. C., Giguere, P., Dudek, G. (2014). 3D trajectory synthesis and control for a legged swimming robot. 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. doi: [10.1109/iros.2014.6942867](https://doi.org/10.1109/iros.2014.6942867)
9. Floyd, S., Keegan, T., Palmisano, J., Sitti, M. (2006). A Novel Water Running Robot Inspired by Basilisk Lizards. 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. doi: [10.1109/iros.2006.282111](https://doi.org/10.1109/iros.2006.282111)
10. Suhr, S. H., Seong Song, Y., Lee, S. J., Sitti, M. (2005). Biologically Inspired Miniature Water Strider Robot. Robotics: Science and Systems I. doi: [10.15607/rss.2005.i.042](https://doi.org/10.15607/rss.2005.i.042)
11. Borenstein, J. The HoverBot C An Electrically Powered Flying Robot. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.9.8963&rep=rep1&type=pdf>
12. Araki, B., Strang, J., Pohorecky, S., Qiu, C., Naegeli, T., Rus, D. (2017). Multi-robot path planning for a swarm of robots that can both fly and drive. 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). doi: [10.1109/icra.2017.7989657](https://doi.org/10.1109/icra.2017.7989657)
13. Alkurdi, L. M., Fisher, R. B. (2013). Visual Control of an Autonomous Indoor Robotic Blimp. Robotic Vision: Technologies for Machine Learning and Vision Applications, 352–370. doi: [10.4018/978-1-4666-2672-0.ch019](https://doi.org/10.4018/978-1-4666-2672-0.ch019)
14. Karpelson, M., Whitney, J. P., Wei, G.-Y., Wood, R. J. (2010). Energetics of flapping-wing robotic insects: towards autonomous hovering flight. 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. doi: [10.1109/iros.2010.5650269](https://doi.org/10.1109/iros.2010.5650269)
15. Baek, S. S., Bermudez, F. L. G., Fearing, R. S. (2011). Flight control for target seeking by 13 gram ornithopter. 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. doi: [10.1109/iros.2011.6048246](https://doi.org/10.1109/iros.2011.6048246)
16. Temizer, S., Kochenderfer, M., Kaelbling, L., Lozano-Perez, T., Kuchar, J. (2010). Collision Avoidance for Unmanned Aircraft using Markov Decision Processes*. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. doi: [10.2514/6.2010-8040](https://doi.org/10.2514/6.2010-8040)
17. Poulakakis, I., Grizzle, J. W. (2009). Modeling and control of the monopodal robot Thumper. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. doi: [10.1109/robot.2009.5152708](https://doi.org/10.1109/robot.2009.5152708)
18. Wahde, M., Pettersson, J. (2002). A brief review of bipedal robotics research. 8th Mechatronics Forum International Conference.
19. Kim, J.-Y., Park, I.-W., Oh, J.-H. (2006). Experimental realization of dynamic walking of the biped humanoid robot KHR-2 using zero moment point feedback and inertial measurement. Advanced Robotics, 20 (6), 707–736. doi: [10.1163/15685530677361622](https://doi.org/10.1163/15685530677361622)
20. Ahmed, M., R., M., Billah M., Farhm S. (2010). Walking Hexapod Robot in Disaster Recovery: Developing Algorithm for Terrain Negotiation and Navigation. New Advanced Technologies. doi: [10.5772/9437](https://doi.org/10.5772/9437)
21. Oak, S., Narwane, V. (2014). Design, Analysis and Fabrication of Quadruped Robot with Four bar Chain Leg Mechanism. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 1 (6), 340–345.
22. Schmidt, A. Legged Robotics & BigDog. Marc Raibert: Boston Dynamics. Available at: https://webpages.uncc.edu/~jmconrad/ECGR6185-2008-01/notes/BigDogRobot_Presentation.pdf
23. Ma, H. W., Wang, L. Q., Chen, D. L., Hao, X. W., Luo, H. W. (2008). Design of a Crab-Like Octopod Robot. Applied Mechanics and Materials, 10-12, 263–266. doi: [10.4028/www.scientific.net/amm.10-12.263](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.10-12.263)
24. Mir-Nasiri, N., Hussaini, S. (2005). New Intelligent Transmission Concept for Hybrid Mobile Robot Speed Control. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2 (3), 27. doi: [10.5772/5784](https://doi.org/10.5772/5784)
25. Pandey, A., Jha, S., Chakravarty, D. (2017). Modeling and Control of an Autonomous Three Wheeled Mobile Robot with Front Steer. 2017 First IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC). doi: [10.1109/irc.2017.67](https://doi.org/10.1109/irc.2017.67)
26. Wasuntapichaikul, P., Sukvichai, K., Tipsuwan, Y. Implementation of torque controller for brushless motors on the omni-directional wheeled mobile robot. Available at: <https://arxiv.org/abs/1708.02271>
27. Lee, G. H., Jung, S. (2013). Line Tracking Control of a Two-Wheeled Mobile Robot Using Visual Feedback. International Journal of Advanced Robotic Systems, 10 (3), 177. doi: [10.5772/53729](https://doi.org/10.5772/53729)
28. Giergiel, M., Buratowski, T., Malka, P. (2011). The Mathematical Description of the Robot for the Tank Inspection. Mechanics and Mechanical Engineering, 15 (4), 53–60.
29. Schwarz, M., Rodehutsors, T., Schreiber, M., Behnke, S. (2016). Hybrid driving-stepping locomotion with the wheeled-legged robot Momaro. 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). doi: [10.1109/icra.2016.7487776](https://doi.org/10.1109/icra.2016.7487776)
30. Xiao, X., Cappo, E., Zhen, W., Dai, J., Sun, K., Gong, C. et. al. (2015). Locomotive reduction for snake robots. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). doi: [10.1109/icra.2015.7139718](https://doi.org/10.1109/icra.2015.7139718)
31. Xian-yi, C., Shu-qin, L., De-shen, X. (2005). Study of Self-Organization Model of Multiple Mobile Robot. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2 (3), 23. doi: [10.5772/5785](https://doi.org/10.5772/5785)
32. Owano, N. Handle: Boston Dynamics robot on wheels performs on stage. Available at: <https://techxplore.com/news/2017-02-boston-dynamics->

- [robot-wheels-stage.html](#)
33. Yan, Z., Jouandeau, N., Cherif, A. A. (2013). A Survey and Analysis of Multi-Robot Coordination. International Journal of Advanced Robotic Systems, 10 (12), 399. doi: [10.5772/57313](#)
 34. Chavan, D., Annadate, S. A. (2013). A Surveillance Robot with Climbing Capabilities for Home Security. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 2 (11), 291–296.
 35. Khalid, U., Baloch, M. F., Haider, H., Sardar, M. U. et. al. Smart Floor Cleaning Robot (CLEAR). Available at: <http://www.standardsuniversity.org/wp-content/uploads/Smart-Floor-Cleaning-Robot-CLEAR.pdf>
 36. Pedersen, L., Kortenkamp, D., Wettergreen, D., Nourbakhsh, I. A Survey Of Space Robotics. Available at: http://wayback.archive-it.org/1792/20100207195709/http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20030054507_2003061124.pdf
 37. Zaborovskiy, V. S. (2013). Kosmicheskaya robototekhnika: ot avtonomnykh ustroystv k kiber-fizicheskim sistemam. Sankt-Peterburg: Lenekspos, 18.
 38. Shanygin, S. V. (2013). Roboty, kak sredstvo mekhanizatsii sel'skogo hozyaystva sel'hoz. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie, 3, 39–42.
 39. Kaurkin, I. A. (2017). Robotizatsiya v gornodobyvayushchey promyshlennosti. IX Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchennykh «ROSSIYA MOLODAYA». Available at: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2017/RM17/pages/Articles/0305006-.pdf>
 40. Korshunov, N. Vozdushnye roboty prizvany na zashchitu i ohranu lesov. Lesnoy patrol'. Available at: <https://fpatrol.ru/vozdushnye-roboty-prizvany-na-zashchitu-i-oxranu-lesov-n-korshunov/>
 41. Mishchuk, D. (2013). Ohliad na analiz konstruktсий robotiv dlia budivelnykh robot. Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny, 82, 28–37.
 42. Kim, J.-H., Sharma, G., Iyengar, S. S. (2010). FAMPER: A fully autonomous mobile robot for pipeline exploration. 2010 IEEE International Conference on Industrial Technology. doi: [10.1109/icit.2010.5472748](#)
 43. Varsani, J. (2002). Robotic Football. BSc (Hons) Computing Session. Available at: https://minerva.leeds.ac.uk/bbcswebdav/orgs/SCH_Computing/FYProj/reports/0203/Varsani.pdf
 44. Ding, I.-J., Chang, Y.-J. (2016). On the Use of Kinect Sensors to Design a Sport Instructor Robot for Rehabilitation and Exercise Training of the Elderly. Sensors and Materials. doi: [10.18494/sam.2016.1302](#)
 45. Prassler, E., Kosuge, K. (2008). Domestic Robotics. Springer Handbook of Robotics, 1253–1281. doi: [10.1007/978-3-540-30301-5_55](#)
 46. Ridao, P. An Introduction to Applied Underwater Robotics. Available at: <http://www.irs.uji.es/trident/files/SIE017-Seminario-PRidao.pdf>
 47. Hassanein, A., Elhawary, M., Jaber, N., El-Abd, M. (2015). An autonomous firefighting robot. 2015 International Conference on Advanced Robotics (ICAR). doi: [10.1109/icar.2015.7251507](#)
 48. Simon, P. (2015). Military Robotics: Latest Trends and Spatial Grasp Solutions. International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence, 4 (4). doi: [10.14569/ijarai.2015.040402](#)
 49. Finkelstein, R. Military robotics: malignant machines or the path to peace? Available at: <https://roboticstechnologyinc.com/images/upload/file/Presentation%20Military%20Robotics%20Overview%20Jan%2010.pdf>
 50. Phung, M. D., Van Nguyen, T. T., Tran, T. H., Tran, Q. V. Localization of Internet-based Mobile Robot. Available at: <https://arxiv.org/abs/1703.03649>
 51. Villani, V., Sabatini, L., Riggio, G., Levratti, A., Secchi, C., Fantuzzi, C. (2017). Interacting With a Mobile Robot with a Natural Infrastructure-Less Interface. IFAC-PapersOnLine, 50 (1), 12753–12758. doi: [10.1016/j.ifacol.2017.08.1829](#)
 52. Burgard, W., Cremers, A. B., Fox, D., Hahnel, D. (1998). The Interactive Museum Tour-Guide Robot. AAAI-98 Proceedings. Available at: <https://www.aaai.org/Papers/AAAI/1998/AAAI98-002.pdf>
 53. Tsybal, O. M., Bronnikov, A. I. (2011). Adaptivity in decision-making of robots. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (4 (52)), 40–43. Available at: <http://journals.urau.ua/ejet/article/viewFile/1389/1287>

Поступила (received) 25.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Класифікація наземних мобільних роботів/ Круглов О. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 33(1255). – С. 80–84.– Бібліогр.: 53 назв. – ISSN 2079-5459.

Классификация наземных мобильных роботов/ Круглов А. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 33(1255). – С. 80–84.– Бібліогр.: 53 назв. – ISSN 2079-5459.

Ground mobile robots classification/ Kругlov A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 33 (1255).– P. 80–84.– Bibliogr.:53. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Олександр Ігорович Круглов – магістр математики, Київський національний університет Тараса Шевченка, аспірант кафедри "Інтелектуальних та інформаційних систем"; вул. Ванди Василевської, 24, м. Київ, Україна, 02000; e-mail: awahrhaft@gmail.com

Александр Игоревич Круглов – магистр математики, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, аспирант кафедры "Интеллектуальных и информационных систем"; улица Ванды Василевской, 24, г. Киев, Украина, 02000; e-mail: awahrhaft@gmail.com

Kругlov Alexander – master of Mathematics, [Taras Shevchenko National University of Kyiv](#), post-graduate student of the department аспирант кафедры «Intellectual and Information Systems»; Vandy Vasilevskoj street, 24, Kiev, Ukraine, 02000; e-mail: awahrhaft@gmail.com