

Иванова Виктория Владимировна – Государственный научный центр РФ – Федеральное государственное автономное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики»; e-mail: v.ivanova@rtc.ru; г. Санкт-Петербург, Россия; тел.: +78125523351; инженер.

Korsakov Anton Mikhailovich – Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics; e-mail: a.korsakov@rtc.ru; Saint-Petersburg, Russia; phone: +78125523351; cand. of eng. sc.; senior researcher.

Ivanova Victoria Vladimirovna – Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics; e-mail: v.ivanova@rtc.ru; Saint-Petersburg, Russia; phone: +78125523351; engineer.

УДК 007:621.865.8

DOI 10.18522/2311-3103-2026-2-232-240

В.П. Носков, О.П. Гойдин, А.Н. Курьянов**ГРУППОВАЯ ВИДЕОНАВИГАЦИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ РОБОТОВ**

Работа посвящена решению актуальных задач совместной автономной видеонавигации беспилотных летательных аппаратов и наземных роботов в урбанизированных средах, включающих плотную городскую застройку и здания, а также в условиях пересеченной местности, включая горную и лесистую местность, где также, как в урбанизированных средах, применение традиционных средств дистанционного управления и навигации может быть ограничено наличием экранированных зон. Задачи групповой навигации предлагается решать на основе данных бортовой системы технического зрения в процессе оперативной разведки рабочей зоны беспилотным летательным аппаратом, результаты которой обеспечивают автономные движение и полет, как отдельных гетерогенных робототехнических средств, так и в группе. В основу алгоритмов навигации положены методы и алгоритмы обработки данных бортовой системы технического зрения, состоящей из комплекса взаимно-юстированных лидара, телекамеры и тепловизора, формирующих геометрию окружающего пространства в виде облака точек с распределением на нем цветовых и температурных полей, позволяющих эффективно решать SLAM-задачу (определение текущих координат объекта управления с формированием геометрической модели внешней среды) и классификацию рабочей зоны по критериям геометрической и опорной проходимости, что обеспечивает автономные полет и движение роботов воздушного и наземного применения в урбанизированных средах и на пересеченной местности. Предлагается в качестве данных для организации автономного функционирования роботов воздушного и наземного применения, в том числе и в группе, использовать информационно-навигационное поле, представленное в виде графа видимости, позволяющего планировать безопасные кратчайшие траектории полета и движения, и множества опорных изображений, позволяющего корректно обрабатывать спланированные траектории с учетом ошибок решения видеонавигационной задачи. Такое информационно-навигационное поле позволяет представить в компактном виде необходимую и достаточную для автономного функционирования беспилотных летательных аппаратов и наземных роботов информацию и упрощает обмен ею между членами группы. Приведены результаты экспериментальных исследований в реальных условиях урбанизированной среды и пересеченной местности, подтверждающие эффективность предлагаемых методов, алгоритмов и соответствующих программно-аппаратных средств.

Гетерогенные роботы воздушного и наземного применения; комплексированная система технического зрения; видео-навигационная задача; информационно-навигационное поле; групповое управление.

V.P. Noskov, O.P. Goydin, A.N. Kuryanov**GROUP VIDEO NAVIGATION OF HETEROGENEOUS ROBOTS**

This paper addresses the pressing challenges of collaborative autonomous video navigation of unmanned aerial vehicles and ground robots in urban environments, including dense urban development and buildings, as well as in rugged terrain, including mountainous and wooded areas, where, as in urban environments, the use of traditional remote control and navigation tools may be limited by the presence of shielded areas. It is proposed to solve group navigation problems using data from an onboard vision system during operational reconnaissance of the work area by an unmanned aerial vehicle. The results ensure autonomous movement and flight of both individual heterogeneous robotic systems and in a group. The navigation algorithms are based on the methods and algorithms for processing data from the onboard vision system, consist-

ing of a complex of mutually adjusted lidar, television camera and thermal imager, which form the geometry of the surrounding space in the form of a point cloud with the distribution of color and temperature fields on it, allowing for the effective solution of the SLAM problem (determination of the current coordinates of the control object with the formation of a geometric model of the external environment) and the classification of the working area according to the criteria of geometric and support cross-country ability, which ensures autonomous flight and movement of robots for air and ground use in urbanized environments and on rough terrain. It is proposed to use an information and navigation field, represented as a visibility graph, to organize the autonomous operation of aerial and ground robots, including in a group, and a set of reference images, allowing for the correct execution of planned trajectories, taking into account errors in the video navigation task. This information and navigation field allows for the compact presentation of information necessary and sufficient for the autonomous operation of unmanned aerial vehicles and ground robots and facilitates its exchange between group members. The results of experimental studies in real-world conditions of urbanized environments and rugged terrain are presented, confirming the effectiveness of the proposed methods, algorithms, and corresponding software and hardware.

Heterogeneous aerial and ground robots; integrated machine vision system; video navigation task; information and navigation field; group control.

Введение. В урбанизированных средах, сильнопересеченной, горной и лесистой местности, где изобилуют экранированные зоны, затруднено использование традиционных средств спутниковой навигации и дистанционного управления. Такая же проблема возникает и при наличии радиопомех. В этом случае в последнее время для открытых пространств успешно применяются системы дистанционного управления с оптоволоконной связью. Однако и системы с оптоволоконной связью не всегда позволяют организовать движение и полет в урбанизированных средах (особенно в условиях плотной городской застройки и в зданиях) и в лесистой местности, а также имеют ограничения на дальность и возврат объекта управления.

При планировании практически всех операций в том числе и с использованием роботизированных средств на первое место выходит оперативность получения разведывательной информации. Перспективным здесь является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). По сравнению с наземными робототехническими комплексами (РТК) БПЛА обладают более высокими скоростью передвижения и маневренностью, большей дальностью действия и обзора и могут свободно перемещаться в пространстве, благодаря чему появляется возможность преодоления завалов и препятствий типа тупиков и лабиринтов, посещения смежных участков обследуемой зоны через проёмы в потолке или стенах. Современные БПЛА специального и гражданского назначения оснащены в основном системами дистанционного управления, дополненными в некоторых случаях элементами автономности, ограничивающимися автопилотированием по заранее заданной траектории по данным спутниковой и инерциальной навигации в условиях свободной от препятствий зоны полёта. Даже кратковременная потеря связи с дистанционно-управляемыми БПЛА в условиях плотной городской застройки и в зданиях, а также сильнопересеченной, горной и лесистой местности практически гарантированно приводит к его потере. Традиционное автопилотирование здесь также невозможно из-за наличия множества препятствий в зоне полета, неустойчивой работы средств спутниковой навигации и недостаточной точности инерциальных систем навигации, то же самое можно сказать и о наземных РТК. Поэтому, несомненно, задачи повышения автономности РТК и БПЛА, ориентированных на использование в таких средах, в том числе и при их групповом применении, являются актуальными.

Центральными в рассматриваемом случае являются задачи формирования модели внешней среды и определения координат объектов управления по данным бортовых средств. Эффективное применение группы гетерогенных роботов (в рассматриваемом случае роботов наземного и воздушного применения) требует не только повышения уровня их автономности, но и нуждается в едином информационно-навигационном поле для организации совместного выполнения общей задачи. Единое информационно-навигационное поле, содержащее обобщенную модель внешней среды и координаты членов группы, позволяет планировать и отрабатывать согласованные в пространстве и времени траектории движения и полета, что и обеспечивает на практическом уровне реализацию автономного группового управления.

Наиболее востребованным сценарием группового управления роботов воздушного и наземного применения является использование автономного разведывательного БПЛА для формирования информационно-навигационного поля, обеспечивающего автономное планирование и обработку траекторий полета БПЛА, и движения РТК, способных, в отличие от БПЛА, нести и применять более тяжелое и энергоемкое бортовое оборудование (средства пожаротушения, взятия проб, дезактивации вредных веществ и т.д.) [1, 2]. Кроме того, автономный разведывательный БПЛА может формировать и план зоны интереса или визуально-подобную модель внешней среды [3], которые могут быть использованы для повышения ситуационной осведомленности операторов роботизированных средств и планирования действий живой силы, возможно совместно с РТК.

Видеонавигация в индустриально-городской среде. В условиях урбанизированных сред могут быть успешно использованы методы выделения из объемного облака точек, формируемого бортовым лидаром БПЛА (рис. 1), горизонтальной опорной поверхности P , которая практически всегда присутствует в таких средах (индустриальные территории, полы в зданиях, дороги и тротуары в городской застройке, ...) и опорных горизонтальных сечений (2D-изображений) внешней среды, сформированных на высоте h ($G_1(h)$, $G_2(h)$), позволяющих с высокой точностью и быстродействием определять все шесть координат БПЛА [1, 2].

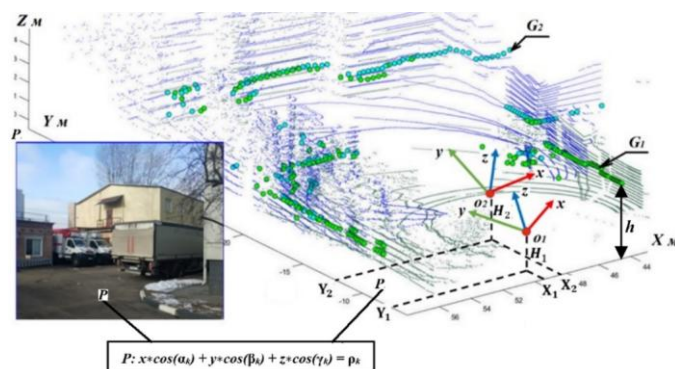


Рис. 1. Видеонавигация БПЛА в индустриально-городской среде

Объединение фрагментов горизонтальной опорной поверхности, выделяемой в процессе полета, позволяет построить план рабочей зоны для РТК (рис. 2), а множество опорных горизонтальных 2D-изображений с координатами их формирования – обеспечить его автономную навигацию [1, 2]. На рис. 2. для условий плотной городской застройки приведен сформированный по данным СТЗ БПЛА план рабочей зоны РТК с опорными изображениями (ОИ). В процессе движения РТК (а также полета БПЛА) накапливается ошибка решения навигационной задачи. Для приведения ее в соответствие с построенной ранее моделью внешней среды при попадании объекта управления в зону опорного изображения текущие координаты определяются не по предыдущему изображению, а по опорному, что обеспечивает корректную обработку спланированной в данной модели траектории.

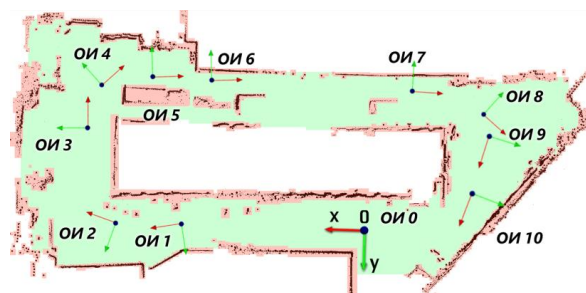


Рис. 2. План рабочей зоны РТК с опорными изображениями

В случае возникновения сложностей при выделении горизонтальной опорной поверхности (например, при полете БПЛА над лестницами и аппаратами или движении РТК по ним) полную задачу видеонавигации (определение всех 6-и координат объекта управления) можно решать с помощью алгоритмов, использующих как правило имеющиеся в урбанизированной среде плоские объекты (стены, потолки, полы, тротуары, ...), которые достаточно просто выделяются из облаков точек [4–8]. Для решения полной навигационной задачи необходимо выделять не менее 3-х взаимно не параллельных плоских объектов [9]. Если выделяется менее 3-х плоских объектов, то необходимо использовать их текстуру [10], которая может быть получена по данным телекамеры, юстированной с лидаром [3]. Результат решения SLAM-задачи с использованием выделяемых в процессе полета внутри здания текстурированных плоских объектов (стен и пола) приведен на рис. 3.

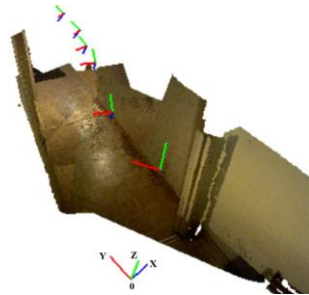


Рис. 3. Результат решения SLAM-задачи при выделении текстурированных плоских объектов из снятых в процессе полета семи комплексированных изображений

Видеонавигация на пересеченной местности. Навигация и управление БПЛА при полете над пересеченной местностью при отсутствии экранированных зон и радиоэлектронных помех может выполняться традиционными средствами (дистанционное управление с использованием средств спутниковой и инерциальной навигации).

В экранированных зонах пересеченной местности и урбанизированной среде, где невозможно выделить горизонтальную опорную поверхность (например, в урбанизированной среде, подвергшейся разрушениям), а также при наличии радиоэлектронных помех, навигация и управление также может выполняться на основе данных бортовых СТЗ [2]. В этом случае необходимо использовать лидар или комплексированную СТЗ, состоящую из взаимно-юстированных лидара и телекамеры [3], формирующую раскрашенное облако точек подстилающей поверхности. При использовании только данных лидара решение задач навигации и построение геометрической модели может быть выполнено с помощью алгоритма экстремальной навигации [11–15] (рис. 4).

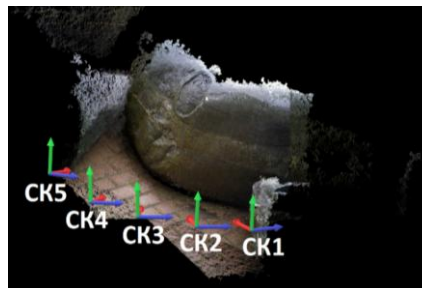


Рис. 4. Решение SLAM-задачи на пересеченной местности с использованием алгоритма экстремальной навигации по последовательности из пяти 3D-изображений

При использовании данных комплексированной СТЗ решение задач навигации и построение геометрической модели может быть выполнено с меньшими вычислительными затратами с помощью аппарата комплексированных (видео-дальнометрических) дескрипторов [16] (рис. 5).

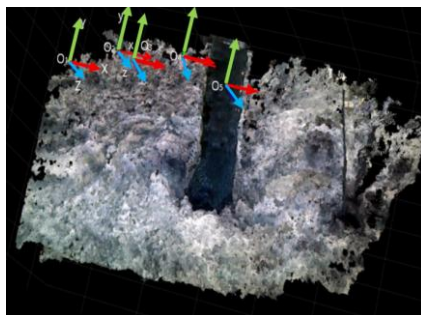
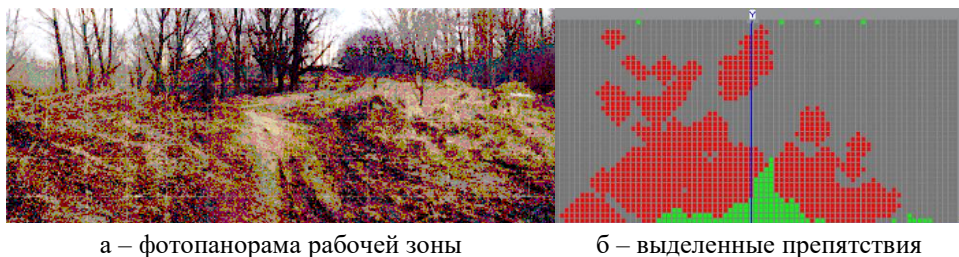


Рис. 5. Решение SLAM-задачи на пересеченной местности с использованием аппарата комплексированных дескрипторов по последовательности из пяти комплексированных изображений

В условиях пересеченной местности и в урбанизированной среде, подвергшейся разрушениям, для построения плана рабочей зоны РТК по видеоданным БПЛА необходимо классифицировать участки зоны маневрирования РТК на проходимые и непроходимые (распознать препятствия) с учетом геометрических и опорных характер грунта, а также характеристик движителя данного РТК.

Для классификации рабочей зоны РТК по критерию геометрической проходимости необходимо выделять геометрические препятствия – критические для данного РТК перепады высот между соседними участками, которые могут быть вычислены по данным лидара БПЛА – облаку точек, приведенному к местной вертикали [17]. На рис. 6. Приведен результат классификации рабочей зоны по критерию геометрической проходимости.

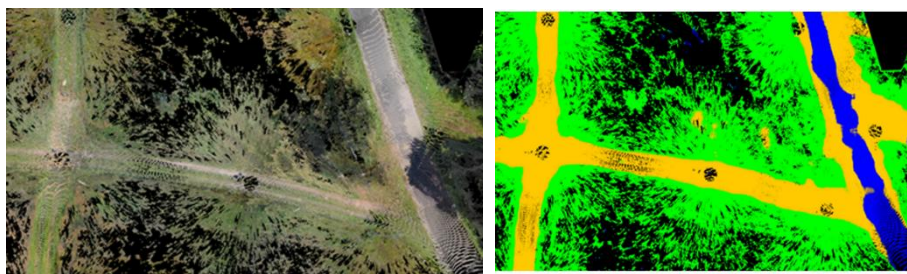


а – фотопанорама рабочей зоны

б – выделенные препятствия

Рис. 6. Классификация рабочей зоны по критерию геометрической проходимости

Для классификации рабочей зоны РТК по критерию опорной проходимости необходимо дополнить данные бортового лидара БПЛА данными юстированными с ним цветной телекамеры и тепловизора, что обеспечивает уверенное распознавание типов грунтов подстилающей поверхности и определить несущие характеристики участков рабочей зоны [18]. На рис. 7. приведен результат распознавания типов грунтов рабочей зоны по данным комплексированной СТЗ БПЛА.



а – видеоизображение местности

б – результат сегментации

Рис. 7. Сегментированные по типу грунта участки внешней среды

Знание типов грунтов позволяет по справочным данным выделить непроходимые участки для данного РТК [19].

Создание информационно-навигационного поля. Решение SLAM-задачи автономным БПЛА позволяет создать информационно-навигационное поле, обеспечивающее групповое функционирование рассматриваемых роботов воздушного и наземного применения. В частности, для урбанизированной среды создание информационно-навигационного поля будет заключаться в следующем [2]:

1. По сформированной объемной геометрической модели рабочей зоны для нужной высоты полета H строится граф видимости [20], обеспечивающий планирование кратчайших траекторий полета в данной рабочей зоне на данной высоте (рис. 8).

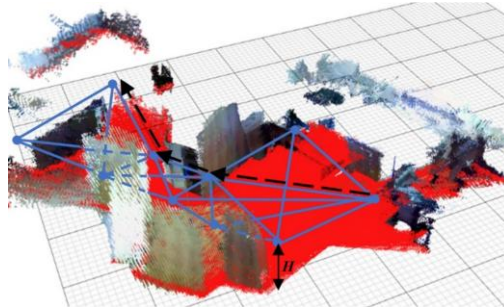


Рис. 8. Граф видимости и спланированная траектория полета на высоте H

2. Для сформированного плана рабочей зоны РТК строится граф видимости, обеспечивающий планирование кратчайших траекторий на разрешенных для движения участка опорной горизонтальной поверхности (рис. 9).

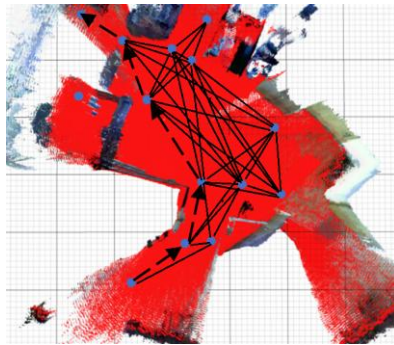


Рис. 9. Граф видимости и спланированная траектория движения РТК

3. Построенные графы видимости дополняются опорными горизонтальными 2D-изображениями с координатами их формирования (рис. 10), что позволяет корректно отрабатывать спланированные траектории с учетом ошибок решения навигационной задачи при формировании БПЛА объемной геометрической модели и плоского плана рабочей зоны РТК.

В матрице смежности графа видимости приводятся координаты вершин в рабочей зоне (X_i , Y_i) и длины ребер (l_{ij}) (рис. 10,а). Графы видимости для БПЛА и РТК могут не совпадать, так как геометрия внешней среды на высоте полета H может не совпадать с геометрией на плоскости перемещения РТК. Таблица опорных 2D-изображений для БПЛА и РТК одна и та же. При этом каждое опорное изображение $G_k(h)$ достаточно пометать только тремя координатами их получения $\langle X_k, Y_k, \phi_k \rangle$ (две горизонтальные и курс), остальные координаты (высота полета, крен, тангаж) для БПЛА вычисляются без накопления ошибки из выделенной горизонтальной плоскости P (см. рис. 1), а для РТК при движении по горизонтальной опорной поверхности они всегда равны нулю.

$\mathcal{N}_2$	X	Y	φ	$G(h)$
k	X_k	Y_k	φ_k	$G_k(h)$

Рис. 10. Информационно-навигационное поле

13. Nüchter A., Lingemann K., Hertzberg J., Surmann H. 6D SLAM - 3D Mapping Outdoor Environments // *Journal of Field Robotics*. – September 2007. – Vol. 24, No. 8-9. – P. 699-722.
14. Segal A., Haehnel D., Thrun S. Generalized-ICP // *Proc. of Robotics: Science and Systems, RSS*. – 2009.
15. Pomerleau F., Colas F., Siegwart R., Magnenat S. Comparing ICP Variants on Real-World Data Sets // *Autonomous Robots*. – April 2013. – Vol. 34, No. 3. – P. 133-148.
16. Носков В.П., Курьянов А.Н. Использование комплексированных дескрипторов в решении SLAM-задачи // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2022. – № 1. – С. 268-278.
17. Буйолов Г.А., Носков В.П., Руренко А.А., Распопин А.Н. Аппаратно-алгоритмические средства формирования модели проблемной среды в условиях пересеченной местности // *Сб. научных трудов «Управление движением и техническое зрение автономных транспортных роботов»*. – М.: ИФТП, 1989. – С. 61-69.
18. Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г. Распознавание объектов и типов опорной поверхности по данным комплексированной системы технического зрения // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2016. – № 2 (175). – С. 127-139.
19. Вазаев А.В., Маишков К.Ю., Носков В.П., Рубцов И.В. Классификация зоны маневрирования РТК на основе тактильной и зрительной информации // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2021. – № 1. – С. 6-19.
20. Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graf // *Numerische Mathematik*. – 1959. – Vol. 1, Iss. 1. – P. 269-271. – ISSN 0029-590X. 0945-3245. – doi 10.1007/BF01386390.

REFERENCES

1. Noskov V.P., Barichev Yu.S., Goydin O.P., Kur'yanov A.N. Razrabotka i issledovanie sredstv videodal'nometricheskoy navigatsii robotov vozdušnogo i nazemnogo primeneniya [Development and study of video-range-metric navigation tools for air and ground robots], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2025, No. 2, pp. 96-108.
2. Noskov V.P. Videonavigatsiya avtonomnykh robotov: ucheb. posobie [Video navigation of autonomous robots: a tutorial]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2025, 230 p.
3. Noskov V.P., Rubtsov I.V., Romanov A.Yu. Formirovanie ob"edinennoy modeli vneshney sredy na osnove informatsii videokamery i dal'nometra [Formation of a combined model of the external environment based on the information from a video camera and a rangefinder], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2007, No. 8, pp. 2-5.
4. Noskov V.P., Kiselev I.O. Trekhmernyy variant metoda Khafa v rekonstruktsii vneshney sredy i navigatsii [Three-dimensional version of the Hough method in the reconstruction of the external environment and navigation], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2018, No. 8, pp. 552-560.
5. Noskov V.P., Kiselev I.O. Vydelenie ploskikh ob"ektov v lineynno strukturirovannykh 3D-izobrazheniyakh [Selection of flat objects in linearly structured 3D images], *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and technical cybernetics], 2018, No. 2 (19), pp. 31-38.
6. Konouchine A., Gaganov V., Veznevets V. AMLESAC: A new maximum likelihood robust estimator, *Proc. Graphicon*, 2005, Vol. 5, pp. 93-100.
7. Klasing K. et al. Comparison of surface normal estimation methods for range sensing applications, *Robotics and Automation, 2009. ICRA'09. IEEE International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 3206-3211.
8. Holz D. et al. Real-time plane segmentation using RGB-D cameras, *Robot Soccer World Cup*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 306-317.
9. Kaz'min V.N., Noskov V.P. Vydelenie geometricheskikh i semanticheskikh ob"ektov v dal'nometricheskikh izobrazheniyakh dlya navigatsii robotov i rekonstruktsii vneshney sredy [Extraction of geometric and semantic objects in ranging images for robot navigation and environmental reconstruction], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 10 (171), pp. 71-83.
10. Noskov V.P., Kiselev I.O. Ispol'zovanie tekstury lineynykh ob"ektov dlya postroeniya modeli vneshney sredy i navigatsii [Using the texture of linear objects to construct a model of the external environment and navigation], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2019, No. 8, pp. 490-497.
11. Noskov V.P., Gubernatorov D.V. Ekstremalnaya navigatsiya po 3D-izobrazheniyam v mobil'noy robototekhnike [Extreme navigation based on 3D images in mobile robotics], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2021, Vol. 22, No. 11, pp. 594-600.
12. Zhang, Zhengyou. Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces, *International Journal of Computer Vision*, 1994, 13 (12), pp. 119-152.

13. Nüchter A., Lingemann K., Hertzberg J., Surmann H. 6D SLAM - 3D Mapping Outdoor Environments, *Journal of Field Robotics*, September 2007, Vol. 24, No. 8-9, pp. 699-722.
14. Segal, A., Haehnel, D., Thrun, S. Generalized-ICP, *Proc. of Robotics: Science and Systems, RSS*, 2009.
15. Pomerleau F., Colas F., Siegwart R., Magnenat S. Comparing ICP Variants on Real-World Data Sets, *Autonomous Robots*, April 2013, Vol. 34, No. 3, pp. 133-148.
16. Noskov V.P., Kur'yanov A.N. Ispol'zovanie kompleksirovannykh deskriptorov v reshenii SLAM-zadachi [Using complexed descriptors in solving the SLAM problem], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2022, No. 1, pp. 268-278.
17. Buyvolov G.A., Noskov V.P., Rurenko A.A., Raspopin A.N. Apparato-algoritmicheskie sredstva formirovaniya modeli problemnoy sredy v usloviyakh peresechennoy mestnosti [Hardware and Algorithmic Means for Forming a Model of a Problem Environment in Rough Terrain Conditions], *Sb. nauchnykh trudov «Upravlenie dvizheniem i tekhnicheskoe zrenie avtonomnykh transportnykh robotov»* [Collection of scientific papers "Motion Control and Technical Vision of Autonomous Transport Robots"]. Moscow: IFTP, 1989, pp. 61-69.
18. Vazaev A.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V., Tsarichenko S.G. Raspoznavanie ob"ektov i tipov opornoy poverkhnosti po dannym kompleksirovannoy sistemy tekhnicheskogo zreniya [Recognition of objects and types of supporting surfaces based on data from an integrated machine vision system], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, No. 2 (175), pp. 127-139.
19. Vazaev A.V., Mashkov K.Yu., Noskov V.P., Rubtsov I.V. Klassifikatsiya zony manevrirovaniya RTK na osnove taktil'noy i zritel'noy informatsii [Classification of the maneuvering zone of the robotic complex based on tactile and visual information], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2021, No. № 1, pp. 6-19.
20. Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graf, *Numerische Mathematik*, 1959, Vol. 1, Iss. 1, pp. 269-271. ISSN 0029-590X. 0945-3245. doi 10.1007/BF01386390.

Носков Владимир Петрович – Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79166766057; к.т.н.; главный специалист научно-исследовательской лаборатории; зав. сектором, НИИ Специального машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Гойдин Олег Петрович – Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова; e-mail: crer@vniia.ru; г. Москва, Россия; руководитель центра робототехники и аварийного реагирования.

Курьянов Алексей Николаевич – Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова; e-mail: tigr-kur@mail.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79258248138; инженер-исследователь научно-исследовательской лаборатории.

Noskov Vladimir Petrovich – All-Russian Research Institute of Automatics named after N.L. Dukhov; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; Moscow, Russia; phone: +79166766057; cand. of eng. sc.; general expert of the research laboratory; Bauman Moscow State Technical University, Special robotics and mechatronics department, NIISM sector head.

Goydin Oleg Petrovich – All-Russian Research Institute of Automatics named after N.L. Dukhov; e-mail: crer@vniia.ru; Moscow, Russia; head of the Center for Robotics and Emergency Response.

Kuryanov Alexsei Nikolaevich – All-Russian Research Institute of Automatics named after N.L. Dukhov; e-mail: tigr-kur@mail.ru; Moscow, Russia; phone: +79258248138; research-engineer of the research laboratory.