

## Раздел V. Системы технического зрения

УДК 007:621.865.8

DOI 10.18522/2311-3103-2017-1-121132

**А.В. Вазаев, В.П. Носков, И.В. Рубцов, С.Г. Цариченко**

### **КОМПЛЕКСИРОВАННАЯ СТЗ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОГО РОБОТА\***

*На основе анализа типов, характеристик, возможностей и недостатков существующих роботизированных средств разведки и пожаротушения обоснована актуальность и необходимость повышения их автономности. Показано, что для повышения автономности мобильных роботов, оснащенных бортовым оборудованием разведки и пожаротушения, ключевыми являются задачи и проблемы создания бортовых средств формирования моделей среды функционирования по данным комплексированных систем технического зрения, объединяющих датчики и сенсоры различной физической природы. Описаны принципы построения комплексных моделей по данным бортовых СТЗ и их использования для решения навигационных задач, планирования и управления движением мобильных роботов и их навесного оборудования, а также – для повышения информативной осведомленности и снижения нагрузки на оператора при дистанционном режиме управления. Приведён математический аппарат выделения струи водопенного огнетушащего состава и определения параметров её траектории. Приведены результаты экспериментальных исследований по формированию комплексной модели реальной рабочей зоны по данным полнофункционального макета комплексированной СТЗ, в состав которого входят 3D-лазерный сенсор, цветная видеокамера и тепловизор и результаты по автоматизации управления лафета с брандспойтом при тушении очага возгорания, в том числе результаты работы созданного программного обеспечения в части сегментации комплексированного изображения с целью выделения открытого пламени и определения параметров траектории струи огнетушащего состава. Показана возможность применения сформированной модели для определения возможной зоны выполнения работ с навесным оборудованием с учётом возможной траектории струи пожаротушащего состава и выхода МРК в эту зону. Показаны примеры визуализации дополнительной информации для повышения информативной осведомленности оператора при дистанционном режиме управления. Сделан вывод, что для внедрения предлагаемых методов и средств повышения эффективности и расширения области использования пожарных МРК с навесным оборудованием требуется постановка соответствующих НИОКР и в первую очередь – в области создания комплексированных СТЗ.*

*Мобильный робот; автономная система управления; комплексированная СТЗ; модель внешней среды; распознавание; классификация.*

**A.V. Vazaev, V.P. Noskov, I.V. Rubtsov, S.G. Tsarichenko**

### **COMBINED COMPUTER VISION SYSTEM IN FIREFIGHTING ROBOT CONTROL SYSTEM**

*Firefighting and reconnaissance robots further development connection with autonomy increasing is substantiated based on currently applied robots' types, parameters and capabilities. In this paper using of extended environment model based on combined computer vision system data for firefighting robots motion planning and attached implements control is proposed. Extended model build and usage in navigation, motion planning and attached implements operation principles is shown. Human opera-*

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-29-04178 офм\_м.

tor interface enhancements based on extended model is shown. Mathematical tool for firefighting hose stream detection and stream trajectory parameters calculation is provided. Created software efforts is provided in: image segmentation for heat source detection and firefighting hose stream trajectory parameters calculation, autonomous hose control signals calculating based on combined image from computer vision system. Full-scale experiment results in real working area model creation based on combined computer vision system data including mutually calibrated LiDAR sensor, color camera and thermovision camera images is provided. Such a sensor combination provides geometrical environment model with color and thermal information, which provides more accurate and simple solution of firefighting hose stream detection, fire detection. Possibility of firefighting robot working zone detecting based on scene geometry and hose stream trajectory is shown. Possible additional data visualization for operator knowledge during remote control is provided, including robot trajectory, possible working zone, fire position and hose stream trajectory. Full-scale experiment results given in this paper admit to make a conclusion that using of combined color-thermal-distance images allows to increase firefighting mobile robot autonomy by providing operator with additional information and using control system to solve some particular tasks.

Mobile robot; autonomous control system; combined computer vision system; environment model; recognition; classification.

**Введение.** В последнее время все большее развитие и применение получают роботизированные средства пожаротушения и разведки, позволяющие вывести оперативных работников противопожарной службы из опасных зон.

Известны пожарные стационарные (рис. 1) и позиционно-мобильные, например – рельсовые (рис. 2), робототехнические комплексы с дистанционными и автоматическими системами управления.

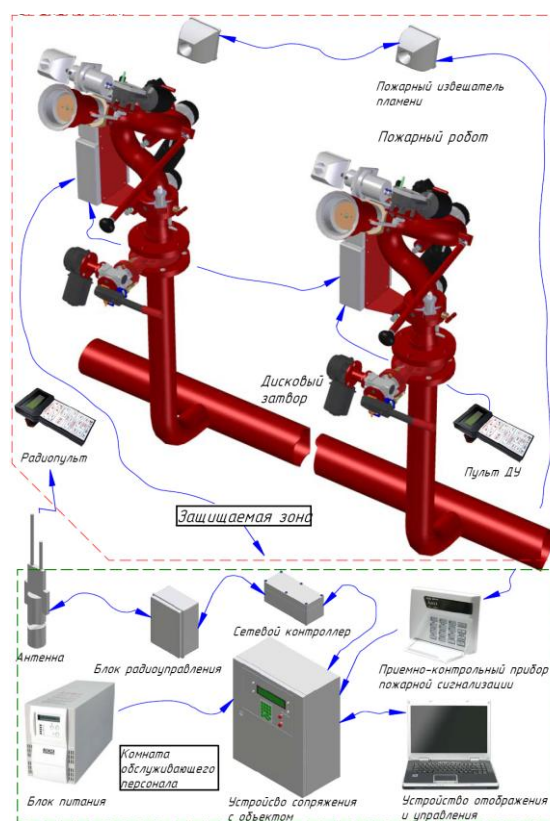


Рис. 1. Пожарный дистанционно-управляемый стационарный робототехнический комплекс российской компании ЭФЭР



*Рис. 2. Транспортный модуль рельсового позиционно-мобильного автоматического пожарнотехнического комплекса голландской компании IFEX NEDERLAND BV*

Стационарные и позиционно-мобильные роботизированные комплексы требуют создания соответствующей инфраструктуры и имеют ограниченное применение в связи с привязкой к конкретному объекту (например, могут быть использованы на пожароопасных дорогостоящих объектах). Наиболее востребованы и интенсивно развиваются мобильные робототехнические комплексы (МРК). Практически все принятые на вооружение образцы пожарных МРК являются дистанционно-управляемыми. На рис. 3 приведены некоторые принятые на вооружение МЧС России пожарные дистанционно-управляемые МРК различных весовых категорий с различным навесным оборудованием пожаротушения и разведки. На рис. 3,а) показан разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана МРК-РП легкого класса, на рис. 3,б,в) – соответственно МРК среднего (Ель-4) и тяжелого классов (Ель-10), разработанные ВНИИПО МЧС России и хорватской компанией DOK-ING с участием МГТУ им. Н.Э. Баумана.



*Рис. 3. Принятые на вооружение МЧС России образцы пожарных МРК*

Как показал практический опыт, дистанционно-управляемые МРК имеют принципиальные недостатки и ограничения, обусловленные необходимостью постоянного двухстороннего информационного обмена, а именно: повышенные требования к каналу связи и ограниченный радиус действия. Особенно остро перечисленные недостатки и ограничения проявляются в изобилующих экранированными зонами индустриально-городских территориях с плотной застройкой и в зданиях, где и проводятся в подавляющем большинстве случаев операции разведки и пожаротушения с применением робототехнических средств. Кроме того, вести разведку обстановки, поиск и выбор очагов возгорания, принимать тактические решения, управлять одновременно движением МРК и навесным оборудованием в одиночку практически невозможно. Поэтому также остро стоит проблема сниже-

ния нагрузки на оператора. Таким образом, дальнейшее развитие роботизированных средств пожаротушения должно быть связано с повышением их автономности за счет передачи функций, выполняемых человеком-оператором, бортовым средствам, что позволит снизить нагрузку на оператора, уменьшить интенсивность информационного обмена между пунктом управления и объектом управления и полностью без него обойтись при движении в экранированных зонах.

К настоящему времени по заказу различных министерств и ведомств (в том числе и МЧС России) в МГТУ им. Н.Э. Баумана выполнено и выполняется ряд НИОКР по робототехнической тематике, которые посвящены созданию дистанционно- и автономно-управляемых МРК. Созданные программно-аппаратные средства автономного управления движением МРК экспериментально проверены в составе роботов различного назначения в реальных средах (помещения, многоэтажные здания, индустриально-городская среда, пересеченная местность) [1–7]. В том числе в рамках ОКР «ОРИЕНТИР» были созданы программно-аппаратные средства, обеспечивающие автоматический возврат МРК-РП (рис. 3,а) в точку старта или в зону уверенного радиообмена при потере связи.

Если в части создания средств автономного управления движением МРК достигнут уровень ОКР по интеграции в серийные образцы, то в части создания средств автономного управления навесным оборудованием МРК требуется проведение НИР. Как показал опыт предварительных исследований, при повышении автономности систем управления навесным оборудованием центральной задачей, как и при повышении автономности систем управления движением МРК [8–11], является задача формирования модели внешней среды по данным бортовой СТЗ. При этом необходимо строить более полные и подробные модели рабочей зоны путем комплексной обработки дальнометрических, телевизионных и тепловизионных данных [11].

**Построение комплексной модели рабочей зоны.** Опыт комплексирования дальнометрических, телевизионных и тепловизионных данных был получен при распознавании типов грунтов для классификации зоны маневрирования на проходимые и непроходимые участки по критерию опорной проходимости [11, 20] (классификация по критерию профильной проходимости известна давно [8]).

Для получения комплексированных данных создан действующий макет комплексированной СТЗ (рис. 4).

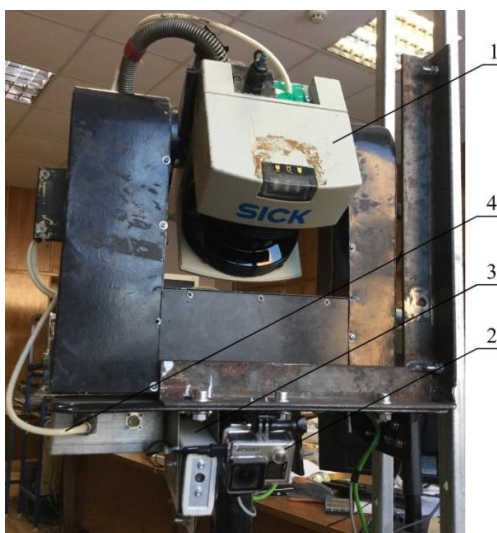


Рис. 4. Макет комплексированной СТЗ

В состав макета входят:

1 – сканирующий 2D-лазерный дальномер Sick LMS291 на опорно-поворотном устройстве;

2 – телевизионная камера GoPro Hero 4;

3 – тепловизионная камера FLIR Lepton;

4 – устройства сопряжения с ЭВМ.

Взаимная юстировка сенсоров позволяет совмещать в единой системе координат дальнометрические, видео- и тепловизионные изображения, в результате чего получается геометрия рельефа опорной поверхности в виде облака точек  $\mathbf{T}$ , с распределением на нем цветового и температурного полей:

$$\mathbf{T} = [T_i] = [ \langle \alpha_i, \beta_i, d_i, I_i, R_i, G_i, B_i, Y_i \rangle ],$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $n$  – число точек;  $\alpha_i, \beta_i$  – углы, соответственно, горизонтальной и вертикальной развёртки 3D-лазерного сенсора;  $d_i$  – измеренная дальность;  $I_i$  – измеренная интенсивность отражённого зондирующего сигнала;  $R_i, G_i, B_i$  – три компоненты цвета пиксела, полученные с телевизионной камеры;  $Y_i$  – температура пиксела, полученная с тепловизионной камеры.

По дальнометрическим данным  $(\alpha_i, \beta_i, d_i)$  могут быть сформированы 3D-геометрические и формальные модели [8,10] рабочих зон для планирования траекторий движения и решения навигационных задач МРК. При использовании дополнительно телевизионных данных  $(R_i, G_i, B_i)$  могут быть сформированы цветные 3D-геометрические модели, их различные проекции и сечения, а также визуально-подобные изображения рабочей зоны для произвольных позиций виртуального наблюдателя [9], что существенно повышает информированность оператора и снижает вероятность его ошибочных действий при дистанционном управлении. Использование полного комплексированного изображения обеспечивает достоверное распознавание не только типов опорной поверхности, но и объектов типа вода и очаг возгорания [11], что дает возможность приступить к автоматизации процесса управления навесным оборудованием пожаротушения типа лафета с брандспойтом.

**Определение параметров струи и управление лафетом.** Известные координаты очага возгорания и текущие координаты МРК позволяют после пересчета в систему координат, связанную с лафетом и приведённую к местной вертикали, определить (по аналогии со стационарными системами на базе лафетных стволов [12]) сферические координаты  $(R_p, \beta, \gamma)$  от насадки до центра очага возгорания (точка А) и углы ориентации лафетного стола  $(\alpha, \gamma)$  в указанной системе координат (рис. 5).

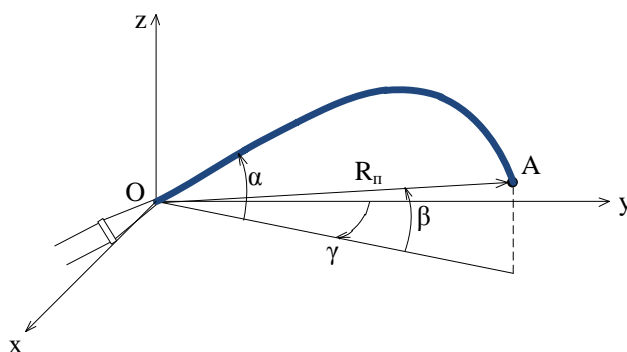


Рис. 5. Траектория струи в пространстве и её параметры

Как показано в [12], значение угла  $\alpha$  зависит от многих факторов: радиуса  $R_p$  и угла  $\beta$ , давления, расхода и угла распыления струи, а также конструкции насадки брандспойта.

Для решения задачи автоматического наведения струи лафетного ствола по данным комплексной модели необходимо:

- ◆ на модели сцены выделить точки, принадлежащие струе;
- ◆ аппроксимировать траекторию струи кривой и определить ее параметры;
- ◆ определить ошибки наведения струи на очаг возгорания и ошибки по углам наведения лафетного ствола для формирования управляющих воздействий на следящие привода наведения.

Для выделения точек, принадлежащих струе, сначала выполняется их кластеризация по расстоянию с учетом температуры и цвета. Затем определяется кластер, точки которого принадлежат струе. Поскольку положение лафетного ствола и углы его наведения известны, то можно выделить точки на начальном отрезке струи, что позволяет однозначно определить искомый кластер.

Определение параметров траектории струи заключается в нахождении уравнения пространственной кривой, аппроксимирующей выделенный кластер точек. В общем виде кривая  $P(t)$  описывается уравнениями:  $x = x(t), y = y(t), z = z(t), t \in (a, b)$ , где значения  $a$  и  $b$  определяют точки расположения лафетного ствола и очага возгорания. В качестве критерия близости используется минимум суммы квадратов расстояний от точек до кривой [13, 14, 15, 16]:

$$f = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m d^2(P(t), X_i),$$

где  $d(P(t), X_i) = \min_t \|P(t) - X_i\|$  – расстояние от точки облака до кривой  $P(t)$ .

Полученное уравнение кривой позволяет определить ошибки наведения струи на очаг возгорания и ошибки по углам наведения лафетного ствола. Введём вспомогательную систему координат  $Ox_1y_1z_1$ , получаемую из  $OXYZ$  серией последовательных поворотов: вокруг оси  $Z$  на угол  $\gamma$  (первая угловая координата очага возгорания) и вокруг оси  $X_1$  на угол  $\beta$  (вторая угловая координата очага возгорания) (рис. 6).

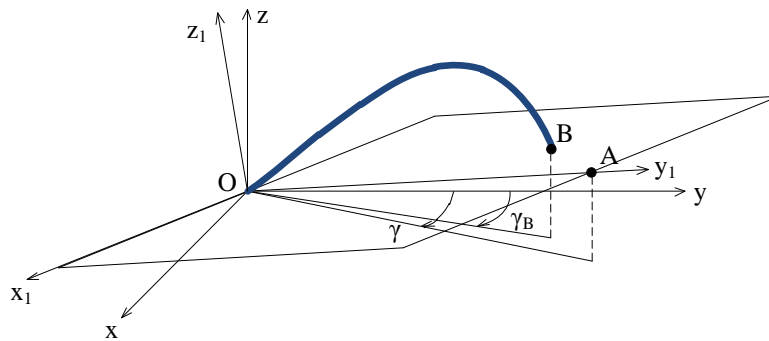


Рис. 6. Определение ошибок по углам наведения лафетного ствола

Ошибка по углу ориентации лафетного ствола в горизонтальной плоскости определяется как разница угловых координат  $\gamma_A$  (азимутальная координата очага возгорания) и  $\gamma_B$  (азимутальная координата точки пересечения траектории струи и плоскости  $Ox_1z_1$ ):

$$\Delta\gamma = \gamma_A - \gamma_B.$$

Ошибка по углу ориентации в вертикальной плоскости пропорциональна разнице между расстояниями от начала координат до центра очага возгорания (точка А) и до точки В:

$$\Delta\alpha = K_\alpha(R_A - R_B),$$

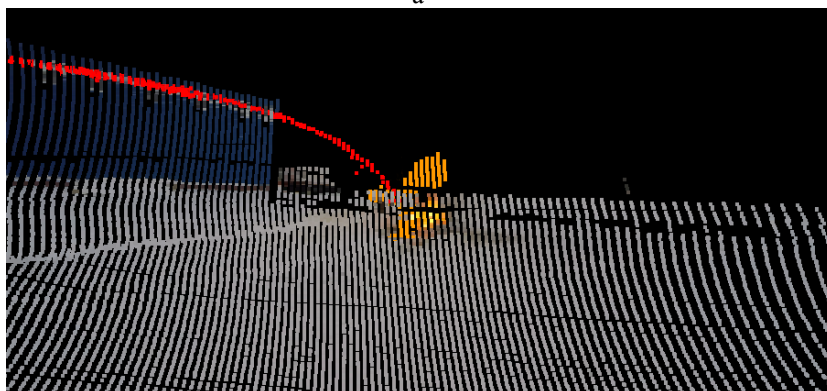
где  $K_\alpha$  – коэффициент.

Следует отметить, что зависимость угла наклона ствола  $\alpha$  от дальности до целевой точки А нелинейная. Экспериментально установлено, что наибольшая дальность получается при угле наклона ствола примерно 30–32° [12]. Для определения ошибок наведения лафетного ствола полученные ошибки по углам ориентации необходимо преобразовать в систему координат, связанную с лафетным стволом с учётом текущих углов курса, крена и дифферента МРК.

**Результаты экспериментальных исследований.** На рис. 7,а представлена фотопанорама сцены, на рис. 7,б – расцветченная 3D-модель с распознанным очагом возгорания и струёй огнетушащего состава.



а



б

Рис. 7. Пример формирования комплексной модели реальной рабочей зоны

Такая комплексная модель содержит данные, достаточные для автономного планирования и отработки всех возможных траекторий движения в рабочей зоне (может быть построена формальная модель [8, 10], определены текущие координаты МРК [3, 10], спланирована и отработана любая допустимая траектория [2, 17, 18, 19]). Модель также позволяет определить участки рабочей зоны, из которых возможно применение бортовых средств пожаротушения (известны координаты очага возгорания [11], геометрия рабочей зоны и может быть определена траектория струи между любой точкой рабочей зоны и очагом возгорания). Таким образом, задача выхода МРК на боевую позицию может быть решена по данным комплексной модели, так как сводится к задаче поиска и отработки кратчайшей траектории из текущего положения МРК к зоне применения средств пожаротушения.

На рис. 8 приведены результаты работы созданного прикладного программного обеспечения, решающего задачи определения параметров траектории струи для управления лафетом по азимуту с использованием горизонтальной проекции 3D-модели (рис. 8,а) и возвышению с использованием вертикального сечения 3D-модели (рис. 8,б).

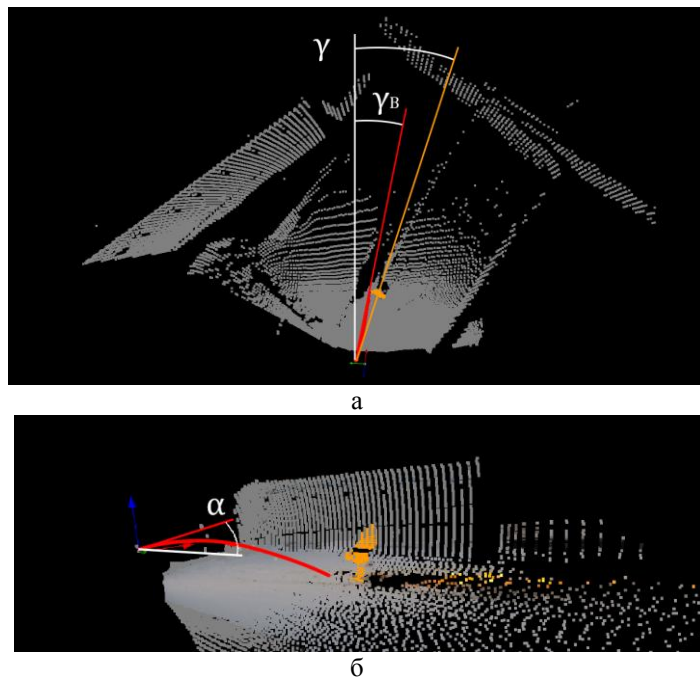


Рис. 8. Результат работы прикладного программного обеспечения

Здесь в горизонтальной проекции приведены углы  $\gamma_A$  и  $\gamma_B$ , по которым вычисляется ошибка наведения лафета в горизонтальной плоскости.

**Система помощи оператору при дистанционном управлении.** Комплексная модель рабочей зоны может быть использована также для предоставления человеку-оператору следующей дополнительной информации:

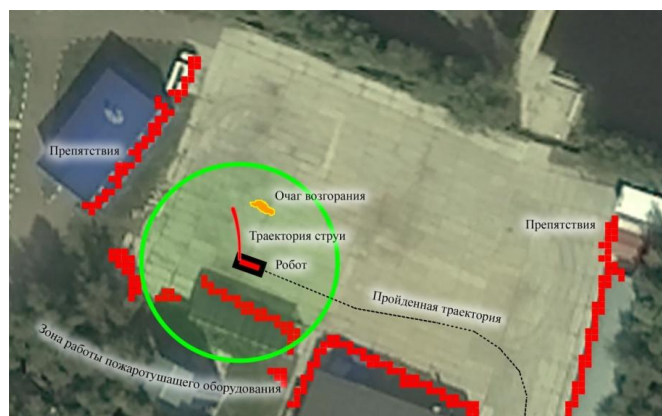
- ◆ текущее положение робота;
- ◆ обнаруженные проходимые и непроходимые участки;
- ◆ выделенные типовые объекты (здания, водоёмы, дороги, типы опорной поверхности и т.д.);
- ◆ расположение очагов возгорания;
- ◆ участки рабочей зоны, с которых возможно применение установленных на МРК средств пожаротушения;
- ◆ реальная траектория струи и рекомендации по её наведению.

При этом дополнительной информации может быть представлена оператору в виде наложений на видеоизображение (рис. 9,а) или план рабочей зоны (рис. 9,б).





а



б

Рис. 9. Наложение на видеоизображение (а) или план рабочей зоны (б)

Оператору также могут быть предоставлены различные сечения и проекции рабочей зоны, а также ее визуально-подобные изображения для различных точек виртуального наблюдателя, что дает возможность более детально рассмотреть и проанализировать как всю рабочую зону, так и ее фрагменты (рис. 10).

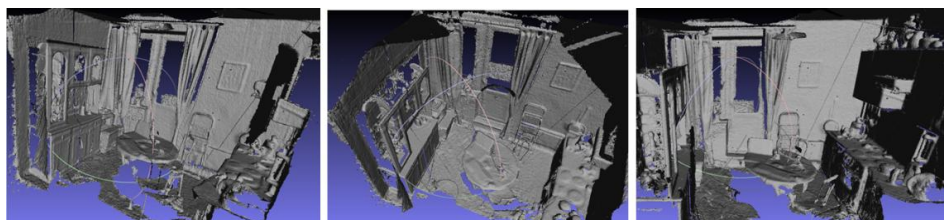


Рис. 10. Визуально-подобные изображения рабочей зоны, сформированные по комплексной модели для 3-х различных точек виртуального наблюдателя

**Заключение.** Приведенные результаты экспериментальных исследований с действующим полнофункциональным макетом комплексированной СТЗ в реальных средах показывают, что предлагаемые методы и средства формирования комплексных моделей внешних сред и их использования для повышения автономности робототехнических средств разведки и пожаротушения позволяют повысить информативную осведомленность и снизить нагрузку на оператора, а также обеспечить автоматическое (без участия оператора) управление МРК и его навесным

оборудованием в экранированных зонах. Данные интеллектуальные способности обеспечивают повышение эффективности и расширение области использования МРК и его средств разведки и пожаротушения. Для создания соответствующих программно-аппаратных средств, пригодных для интеграции в серийные образцы МРК, требуется проведение НИОКР, и в первую очередь – в области комплексированных СТЗ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лакота Н.А., Носков В.П., Рубцов И.В., Лундгрэн Я.-О. Моор Ф.* Опыт использования элементов искусственного интеллекта в системе управления цехового транспортного робота // Мехатроника. – 2000. – № 4. – С. 44-47.
2. *Каляев А.В., Носков В.П., Чернухин Ю.В., Каляев И.А.* Однородные управляющие структуры адаптивных роботов. – М.: Наука, 1990. – 147 с.
3. *Носков В.П., Носков А.В.* Навигация мобильных роботов по дальнометрическим изображениям // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 16-21.
4. *Носков В.П., Рубцов И.В.* Опыт решения задачи автономного управления движением мобильных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 21-24.
5. *Дементей В.П., Леткина Н.Ю., Носков В.П., Цариченко С.Г.* Интеллектуализация мобильных пожарно-спасательных роботизированных комплексов // Труды XXI Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис». – 2010. – С. 40-46.
6. *Калинин А.В., Носков В.П., Рубцов И.В.* Система автовождения танка Т-72Б // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия «Машиностроение». Специальный выпуск «Специальная робототехника и мехатроника». – 2012. – С. 134-148.
7. *Носков В.П., Рубцов И.В.* Ключевые вопросы создания интеллектуальных мобильных роботов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2013.
8. *Буйолов Г.А., Носков В.П., Руренко А.А., Распопин А.Н.* Аппаратно-алгоритмические средства формирования модели проблемной среды в условиях пересеченной местности // Сб. научн. тр. «Управление движением и техническое зрение автономных транспортных роботов». – М.: ИФТП. 1989. – С. 61-69.
9. *Носков А.В., Рубцов И.В., Романов А.Ю.* Формирование объединенной модели внешней среды на основе информации видеокамеры и дальномера // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – № 8. – С. 2-5.
10. *Казьмин В.Н., Носков В.П.* Выделение геометрических и семантических объектов в дальнометрических изображениях для навигации роботов и реконструкции внешней среды // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 10 (171). – С. 71-83.
11. *Вазяев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г.* Распознавание объектов и типов опорной поверхности по данным комплексированной СТЗ // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 2 (175). – С. 127-139.
12. *Горбань Ю.И.* Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. – М.: Пожнаука, 2013. – 352 с.
13. *Wang W., Pottmann H., Liu Y.* Fitting B-spline Curves to Point Clouds by Curvature-based Squared Distance Minimization // ACM Trans. Graph. – 2006. – Vol. 25, No. 2. – С. 214-238.
14. *Dimitrov A., Gu R., Golparvar-Fard M.* Non-Uniform B-Spline Surface Fitting from Unordered 3D Point Clouds for As-Built Modeling // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2016. – Vol. 31, No. 7. – С. 483-498.
15. *Maekawa T., Ko K.H.* Surface Construction by Fitting Unorganized Curves // Graph. Models. – 2002. – Vol. 64, No. 5. – P. 316-332.
16. *Pottmann H., Leopoldseder S., Hofer M.* Approximation with Active B-Spline Curves and Surfaces // Proceedings of the 10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002. – P. 8.
17. *Al-Moadhen A. et al.* Improving the Efficiency of Robot Task Planning by Automatically Integrating Its Planner and Common-Sense Knowledge Base // Knowledge-Based Information Systems in Practice / ed. Tweedale J.W. et al. Springer International Publishing. – 2015. – P. 185-199.

18. Ji J., Chen X. From structured task instructions to robot task plans // IC3K 2013; KEOD 2013 - 5th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development, Proceedings. – 2013. – P. 237-244.
19. Galindo C., Fernandez-Madrigal J.-A., Gonzalez J. Improving efficiency in mobile robot task planning through world abstraction // IEEE Transactions on Robotics. – 2004. – Vol. 20, No. 4. – P. 677-690.
20. Milella A. et al. Combining radar and vision for self-supervised ground segmentation in outdoor environments // 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2011. – P. 255-260.

## REFERENCES

1. Lakota N.A., Noskov V.P., Rubtsov I.V., Lundgren Ya.-O., Moor F. Opyt ispol'zovaniya elementov iskusstvennogo intellekta v sisteme upravleniya tsekhovogo transportnogo robota [Experience in the use of elements of artificial intelligence in the control system of shop transportation robot], *Mekhatronika* [Mechatronics], 2000, No. 4, pp. 44-47.
2. Kalyaev A.V., Noskov V.P., Chernukhin Yu.V., Kalyaev I.A. Odnorodnye upravlyayushchie struktury adaptivnykh robotov [Homogeneous control structures for adaptive robots]. Moscow: Nauka, 1990, 147 p.
3. Noskov V.P., Noskov A.V. Navigatsiya mobil'nykh robotov po dal'nometricheskim izobrazheniyam [Navigation of mobile robots in telematiceskikh images], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2005, No. 12, pp. 16-21.
4. Noskov V.P., Rubtsov I.V. Opyt resheniya zadachi avtonomnogo upravleniya dvizheniem mobil'nykh robotov [The experience of solving the problem of Autonomous motion control of mobile robots], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2005, No. 1, pp. 21-24.
5. Dementey V.P., Letkina N.Yu., Noskov V.P., Tsarichenko S.G. Intellektualizatsiya mo-bil'nykh pozharno-spasatel'nykh robotizirovannykh kompleksov [Intellectualization of mobile fire-rescue robotic systems], *Trudy KhKhI Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Ekstremal'naya robototekhnika»* [Proceedings of XXI International scientific-technical conference "Extreme robotics"]. St. Petersburg: Izd-vo «Politekhnika-servis», 2010, pp. 40-46.
6. Kalinin A.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V. Sistema avtovozhdeniya tanka T-72B [The system of driving tanks T-72B], *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana, seriya «Mashinostroenie». Spetsial'nyy vypusk «Spetsial'naya robototekhnika i mekhatronika»* [Vestnik MGTU im. N.Uh. Bauman, series "Engineering". A special edition of "Special robotics and mechatronics"], 2012, pp. 134-148.
7. Noskov V.P., Rubtsov I.V. Klyucheveye voprosy sozdaniya intellektual'nykh mobil'nykh robotov [Key issues in the development of intelligent mobile robots], *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya «Mashinostroenie»* [Vestnik MGTU im. N.Uh. Bauman. Series "Engineering"], 2013.
8. 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 of forming a model of the problem environment in terms of terrain], *Sb. nauchn. tr. Upravlenie dvizheniem i tekhnicheskoe zrenie avtonomnykh transportnykh robotov* [Collection of scientific papers "motion Control and machine vision Autonomous robot vehicles"]. Moscow: IFTP. 1989, pp. 61-69.
9. Noskov A.V., Rubtsov I.V., Romanov A.Yu. Formirovanie ob'edinennoy modeli vneshney sredy na osnove informatsii videokamery i dal'nomera [The formation of the joint model of the external environment on the basis of information of the camera and the range finder] *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2007, No. 8, pp. 2-5.
10. Kaz'min V.N., Noskov V.P. Vydelenie geometricheskikh i semanticheskikh ob"ektov v dal'nometricheskikh izobrazheniyakh dlya navigatsii robotov i rekonstruktsii vneshney sredy [The selection of geometric and semantic objects in telematiceskikh images for navigation of robots and reconstruction of the external environment], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskije nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 10 (171), pp. 71-83.
11. Vazaev A.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V., Tsarichenko S.G. Raspoznavanie ob"ektov i tipov opornoy poverkhnosti po dannym kompleksirovannoy STZ [Object detection and ground type classification with combined computer vision system], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskije nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, No. 2 (175), pp. 127-139.

12. Gorban' Yu.I. Pozharnye roboty i stvol'naya tekhnika v pozharной avtomatike i pozharной okhrane [Fire-fighting robots and conventional technique in fire automatics, and fire protection]. Moscow: Pozhnauka, 2013, 352 p.
13. Wang W., Pottmann H., Liu Y. Fitting B-spline Curves to Point Clouds by Curvature-based Squared Distance Minimization, *ACM Trans. Graph.*, 2006, Vol. 25, No. 2, pp. 214-238.
14. Dimitrov A., Gu R., Golparvar-Fard M. Non-Uniform B-Spline Surface Fitting from Unordered 3D Point Clouds for As-Built Modeling, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2016, Vol. 31, No. 7, pp. 483-498.
15. Maekawa T., Ko K.H. Surface Construction by Fitting Unorganized Curves, *Graph. Models.*, 2002, Vol. 64, No. 5, pp. 316-332.
16. Pottmann H., Leopoldseder S., Hofer M. Approximation with Active B-Spline Curves and Surfaces, *Proceedings of the 10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002, pp. 8.
17. Al-Moadhen A. et al. Improving the Efficiency of Robot Task Planning by Automatically Integrating Its Planner and Common-Sense Knowledge Base, *Knowledge-Based Information Systems in Practice / ed. Tweedale J.W. et al. Springer International Publishing*, 2015, pp. 185-199.
18. Ji J., Chen X. From structured task instructions to robot task plans, *IC3K 2013; KEOD 2013 - 5th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development, Proceedings*, 2013, pp. 237-244.
19. Galindo C., Fernandez-Madrigal J.-A., Gonzalez J. Improving efficiency in mobile robot task planning through world abstraction, *IEEE Transactions on Robotics*, 2004, Vol. 20, No. 4, pp. 677-690.
20. Milella A. et al. Combining radar and vision for self-supervised ground segmentation in outdoor environments, *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2011, pp. 255-260.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор М.В. Алешков.

**Носков Владимир Петрович** – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; e-mail: noskov\_mstu@mail.ru; 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5; тел.: +79166766057; кафедра специальной робототехники и мехатроники; к.т.н.; доцент; НИИ Специального машиностроения; зав. сектором.

**Вазаев Александр Викторович** – e-mail: vazaev@bmstu.ru; тел.: +79153976550; кафедра специальной робототехники и мехатроники, аспирант; НИИ Специального машиностроения, инженер.

**Рубцов Иван Васильевич** – e-mail: noskov\_mstu@mail.ru; тел.: 84992636019; кафедра специальной робототехники и мехатроники, к.т.н.; НИИ Специального машиностроения, начальник отдела.

**Цариченко Сергей Георгиевич** – ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России; e-mail: tsarichenko\_s@mail.ru; 143903, г. Балашиха, Московская область, мкр. ВНИИПО, д. 12; тел.: +79037226194; д.т.н.; Центр развития робототехники МЧС России; начальник.

**Noskov Vladimir Petrovich** – Bauman Moscow State Technical University; e-mail: noskov\_mstu@mail.ru; Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya street, 5; phone: +79166766057; the department of special robotics and mechatronics, cand. of eng. sc.; NIISM, sector head.

**Vazaev Alexander Viktorovich** – e-mail: vazaev@bmstu.ru; phone: +79153976550; the department of special robotics and mechatronics, post-graduate student; NIISM, engineer.

**Rubtsov Ivan Vasil'evich** – e-mail: noskov\_mstu@mail.ru; phone: +74992636019; the department of special robotics and mechatronics, cand. of eng. sc.

**Tsarichenko Sergey Georgievich** – All Russian Fire Research Institute; e-mail: tsarichenko\_s@mail.ru; 143903, Balashiha, Moscow Region, VNIPO, 12; phone: +79037226194; dr. of eng. sc.; professor; Center telerobotic development EMERCOM; general head.