

Малышев Александр Николаевич – e-mail: malyshev@vniisignal.ru; тел.: 84923290426, 89100960659; начальник отдела.

Багаев Дмитрий Викторович – e-mail: багаев@vniisignal.ru; тел.: 84923290426; к.т.н.; доцент; начальник сектора.

Filippov Sergei Ivanovich – All-Russian Scientific Research Institute «Signal» Joint Stock Company; e-mail: filippov@vniisignal.ru; 57, Krupskaya street, Vladimir region, Kovrov, 601903, Russia; phone: +74923232066; cand. of eng. sc.; chief designer; deputy general director for research.

Shashok Vladimir Nikolfevich – e-mail: shashok@vniisignal.ru; phone: +74923231234; general director.

Malyshev Alexander Nikolfevich – e-mail: malyshev@vniisignal.ru; phone: +74923290426, +79100960659; chief of department.

Bagayev Dmitrii Viktorovich – e-mail: багаев@vniisignal.ru; phone: +74923290426; cand. of eng. sc; associated professor; sector head.

УДК 007:621.865.8

В.А. Аникин, Н.Е. Бодунков, Н.В. Ким, В.П. Носков, И.В. Рубцов

**ОБЛИК ВЫНОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
НА БАЗЕ БЛА ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ МОБИЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ
КОМПЛЕКСОВ (РТК)**

Рассматриваются вопросы, связанные с повышением автономности мобильных роботов (МР) за счет передачи части функций оператора бортовым средствам: определения положения и ориентации робота, формирования и уточнения картографической информации, формирования оперативной и тактической моделей внешней среды, планирования траекторий движения и маневров. Для решения указанных задач предлагается использовать систему технического зрения на базе беспилотного летательного аппарата, непосредственно связанного и функционирующего в комплексе с МР. Представлены результаты экспериментов и исследований, связанных с формированием локальной модели среды передвижения МР и планированием маршрута на основе этой модели, с использованием информации, полученной с бортовой системы технического зрения БЛА. Показано, что реализация предложенного подхода позволит: существенно повысить эффективность применения наземных МР за счет расширения зоны обзора, анализа окружающей обстановки и возможности оптимального планирования действий, обеспечить более раннее обнаружение объектов интереса, слежения и наведения, повысить эффективность наблюдений за счет установки системы на различные типы мобильных и наземных объектов.

Мобильная робототехника; система технического зрения; выносной пункт технического зрения; беспилотный летательный аппарат.

V.A. Anikin, N.E. Bodunkov, N.V. Kim, V.P. Noskov, I.V. Rubtsov

**APPEARANCE OF THE REMOTE UAV BASED TECHNICAL VISION
SYSTEM FOR LANDING MOBILE ROBOTIC COMPLEX**

Paper addresses the issues associated with an increase of the autonomy of mobile robots (MR) due to the transfer of the operator functions to onboard automatic systems: the robot position and orientation determining, the formation and refinement of the cartographic information, formation of the operational and tactical models of the environment, trajectories and maneuvers planning. To solve these problems the use of a vision system based on UAV directly connected and functioning in complex with the MR is proposed. The results of experiments and studies related to

the formation of the local environment model and the MR route planning based on this model, using information obtained from the UAVs on-board vision system, are presented. It is shown, that the implementation of the proposed approach allows: to significantly improve of the efficiency of the use of landing MR through the expansion of the field of view; the environment analysis and the possibility of optimal action planning; earlier detection, tracking and guidance of objects of interest; to increase the effectiveness of observations by installing the system on different types of mobile and landing objects.

Mobile robotics; technical vision system; remote vision system; UAV.

Дальнейшее развитие мобильной робототехники (МР), позволяющее преодолеть принципиальные ограничения и недостатки дистанционного управления, связано с повышением автономности МР за счет передачи функций, выполняемых человеком-оператором, бортовым средствам [1]. Такая «интеллектуализация» МР требует комплексного решения бортовыми средствами следующих основных задач:

- ◆ дистанционное определение геометрических и опорных характеристик зоны маневрирования;
- ◆ определение текущих координат и ориентации МР;
- ◆ формирование оперативной (локальной) и тактической (глобальной) моделей внешней среды с учетом оперативной (показания бортовых датчиков и сенсоров) и априорной (картографические данные) информации о районе маневрирования;
- ◆ планирование целенаправленных траекторий движения на оперативном и тактическом уровнях;
- ◆ отработка планируемых траекторий движения;
- ◆ уточнение априорной картографической информации по данным бортовых систем;
- ◆ контроль и диагностика программно-аппаратных средств бортовой системы управления и двигательной установки.

Для решения данных задач бортовые средства управления должны включать:

- ◆ систему технического зрения;
- ◆ системы формирования модели внешней среды и планирования траекторий движения;
- ◆ навигационную систему;
- ◆ систему нижнего уровня управления.

Все эти системы тесно взаимосвязаны между собой и должны обеспечивать решение главной «сверхзадачи» – задачи автовождения, являющейся базовой во всех вариантах автономного использования МР. Требования, предъявляемые к данным системам, и их характеристики зависят от среды функционирования (помещения, многоэтажные здания, индустриально-городские территории, сеть дорог, пересеченная местность), характеристик объекта управления (тип движителя, диапазон скоростей движения, проходимость, вес, геометрические размеры) и решаемых задач (разведка, боевые и обеспечивающие действия).

При создании средств автовождения одними из центральных являются задачи формирования оперативной модели внешней среды (локальная модель) и уточнения картографии района маневрирования (глобальная модель) по данным бортовых средств, решение которых позволяет обеспечить планирование движения МР [2]. При этом спланированная в текущий момент времени траектория оптимальна частично, т.е. оптимальна только для локальной и глобальной моделей, сформированных и уточненных бортовыми средствами на текущий момент времени. Очевидно, что оптимальность траектории тем выше, чем больше размеры локальной модели в текущий момент времени.

Исходная информация для формирования локальной модели поступает от системы технического зрения (СТЗ) и навигационной системы. Оперативные данные СТЗ о локальной зоне обзора и априорные картографические данные о районе действия МР должны дополнять друг друга и использоваться в комплексе с навигационными данными [1]. Однако размеры локальной зоны ограничены дальностью действия СТЗ (например, при высоте подвеса СТЗ 2–2,5 м, что является пределом для штатных машин, эффективная зона обзора ограничена радиусом 20–30 м). Картографические данные, в свою очередь, не достаточно подробны и требуют постоянного уточнения (например, не содержат информацию об относительно небольших, но непреодолимых препятствиях, таких, как отдельные стоящие или поваленные деревья, камни, воронки, а также информацию о недавно произошедших картографических изменениях, таких как разрушение моста, завал на дороге или ее разрушение, загромождение улиц в населенном пункте, затопление отдельных участков местности). Таким образом, налицо противоречие между оперативными данными о среде функционирования, обусловленное в основном большой разницей размеров и масштабов локальной и глобальной моделей, а также временем их получения. Отмеченное противоречие приводит к тому, что при дистанционном, а тем более и при автономном режимах управления, далеко не всегда можно получить оптимальные траектории движения, что в свою очередь приводит к возможности вынужденного возврата в исходную или промежуточные точки старта, заикливание и в конечном итоге, – к увеличению времени движения, расхода топлива, вероятности обнаружения противником и другим негативным явлениям. Данные проблемы возникают при решении с помощью МР практически всего возможного спектра задач: разведки, обнаружения целей и применения оружия, минирования, разминирования, подвозки боеприпасов и энергоносителей, эвакуации раненых.

Разрешение отмеченного противоречия и повышение эффективности МР возможно путем использования выносного пункта технического зрения (ВПТЗ) на базе беспилотного летательного аппарата (БПЛА), непосредственно связанного и функционирующего в комплексе с МР (или с группой МР) [3] (рис. 1).



Рис. 1. Сцены, наблюдаемые с различных высот

Данные с такого ВПТЗ позволяют связать оперативную информацию о среде передвижения с картографической информацией, так как являются промежуточными по размерам и масштабу представления, а также – на два-три порядка увеличить зону обзора и оперативно в темпе движения уточнять картографические данные (рис. 2).

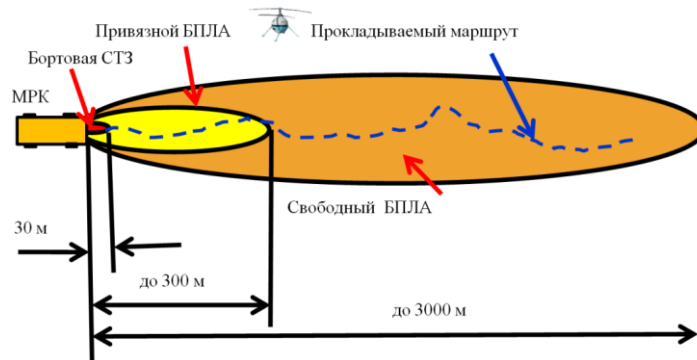


Рис. 2. Зоны обзора СТЗ

Процесс формирования локальной модели как по данным бортовых средств МР, так и с использованием данных от ВПТЗ на базе БПЛА состоит из двух основных этапов: этапа построения геометрической модели и этапа ее классификации по критерию проходимости для данного МР [4].

В случае формирования геометрической модели по данным бортовых средств МР можно использовать 3D-лазерный сенсор [1]. При этом геометрическая модель представляет собой дальнометрическое изображение зоны обзора в сферической системе координат:

$$D = \{ \langle d_{ij}, \alpha_i, \beta_j \rangle \} (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m),$$

где d_{ij} , α_i , β_j – измеренная дальность и углы сканирования; m , n – число сканов (строк) и число измерений в скане.

Принятые системы координат и кинематика сканирования для 3D-лазерного сенсора, построенного на базе промышленного 2D-лазерного сенсора и одностепенного сканатора [1], приведена на рис.3. В этом случае для произвольного элементарного измерения дальности для момента времени t преобразование координат выполняется по формуле

$$R_t = V_t + A_z(\varphi_t) \times A_x(\gamma_t) \times A_y(\theta_t) \times [C + A_x(\beta_t) \times (B + A_z(\alpha_t) \times v_t)],$$

где $v_t = \langle d_t, 0, 0 \rangle$ – координаты измеренной точки в системе сканирующего зеркала 2D-лазерного сенсора; R_t – координаты измеренной точки в неподвижной системе координат; $A_E(\zeta_t)$ – матрица поворота вокруг оси E на угол ζ_t ; α_t , β_t , θ_t , γ_t , φ_t – углы горизонтального и вертикального сканирования, текущие крен, дифферент и курс корпуса МР (сенсора); V_t – текущие координаты корпуса МР; B – координаты точки подвеса 2D-сенсора относительно сканатора; C – координаты точки подвеса сканатора в системе координат корпуса МР.

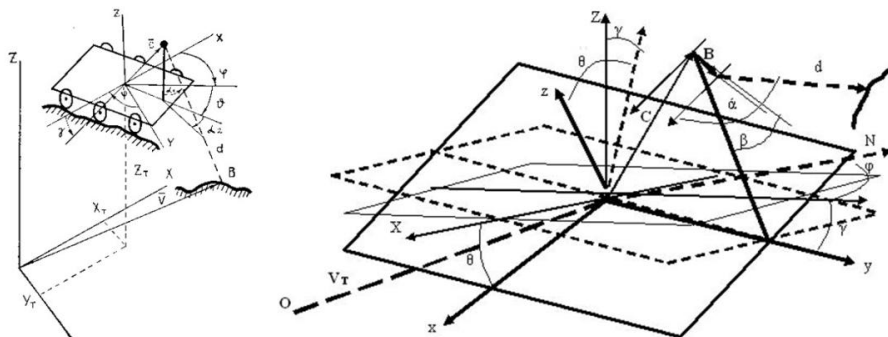


Рис. 3. Принятые системы координат и кинематика сканирования

В случае формирования геометрической модели по данным ВПТЗ светолокационная СТЗ может быть построена на базе 2D-лазерных сенсоров. 3D-дальнометрическое изображение опорной поверхности передвижения МР может быть получено в данном случае за счет линейного перемещения БПЛА, а также за счет управляемых колебаний БПЛА по углу тангажа.

Результат выполнения этапа формирования геометрической модели в процессе движения приведен на рис. 4.

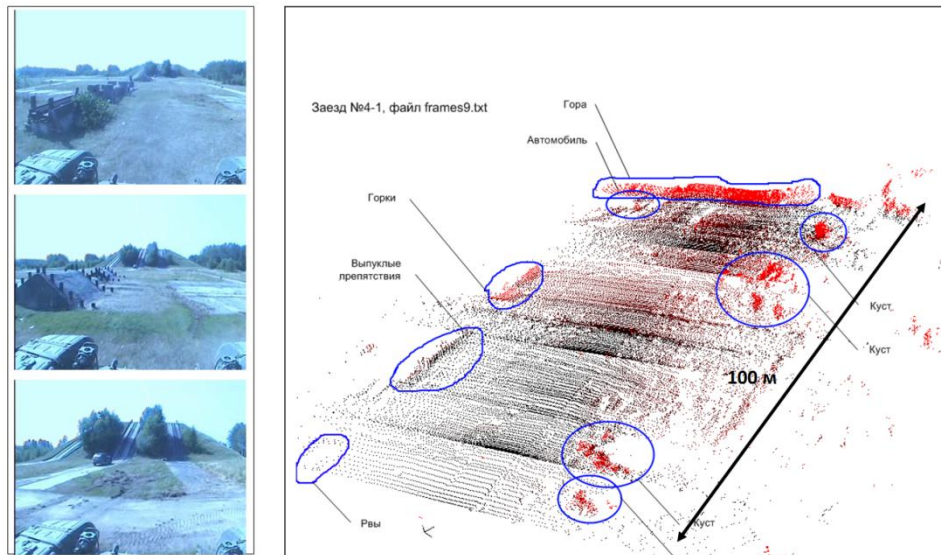


Рис. 4. Формирование геометрической модели в процессе движения МР

Второй этап формирования локальной модели внешней среды – этап классификации ее участков по критерию проходимости сводится к вычислению возможных колебаний корпуса мобильного робота по крену и дифференту на данном рельефе и сравнению их с предельно-допустимыми для различных скоростей движения. Кроме того, по геометрической модели вычисляются отрицательные и положительные ступеньки, которые также сравниваются с предельно-допустимыми ступеньками для различных скоростей движения. Как показано в [4, 5], наиболее эффективными являются алгоритмы классификации, в основу которых положена процедура вычисления перепадов высот рельефа между дискретными участками, расстояние между которыми не превышает максимального геометрического размера мобильного робота в его проекции на плоскость перемещений, и сравнения их со значениями семейства функций геометрической проходимости данного мобильного робота. На рис. 5 приведено семейство функций проходимости для мобильного робота с гусеничным или многоколесным движителем.

Здесь L – максимальный линейный размер мобильного робота в проекции на плоскость перемещений; h_1, h_2, h_3 – допустимые ступеньки и $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – допустимые углы наклона корпуса мобильного робота соответственно при скоростях движения V_1, V_2 и V_3 . Например, если проверяется i -й и j -й участки, расстояние между которыми равно $l_{ij} < L$, а перепад высот между ними равен ΔZ_{ij} (черная точка на рис. 5), то между данными участками можно двигаться со скоростями V_1 или V_2 , а со скоростью V_3 двигаться нельзя ($V_3 > V_2 > V_1$). При формировании локальной модели целесообразно “расширять” в проекции на плоскость перемещений выявленные препятствия на половину размера корпуса мобильного робота, что

позволяет учитывать размеры мобильного робота в размерах препятствий и свести планирование траектории движения мобильного робота в локальной зоне к планированию траектории движения материальной точки.

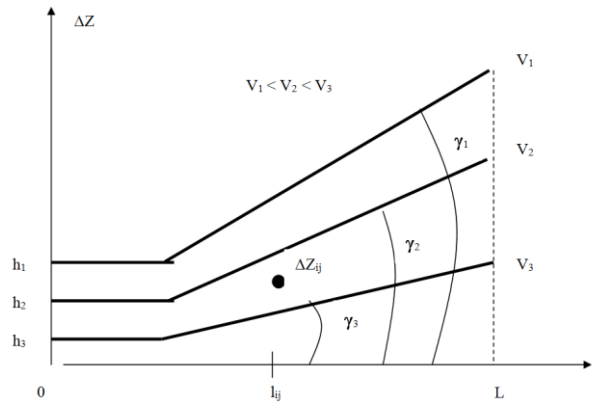


Рис. 5. Семейство функций геометрической проходимости

Результат работы описанного выше алгоритма классификации локальной зоны по критерию геометрической проходимости для одной скорости движения приведен на рис. 6.

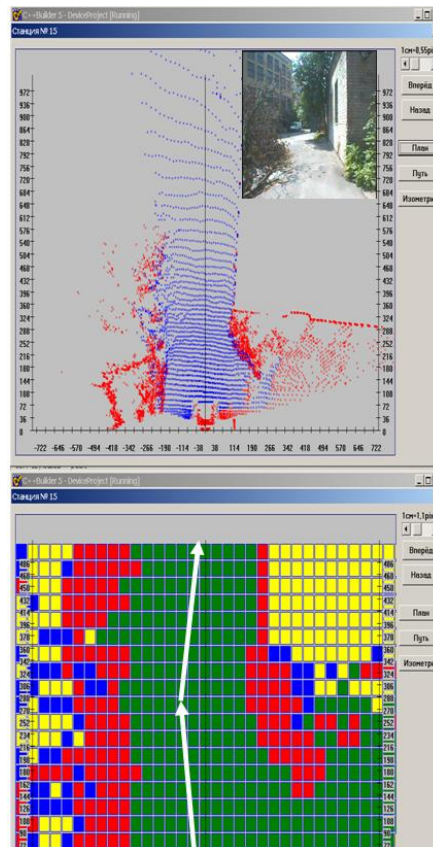


Рис. 6. Результат работы алгоритмов формирования локальной модели

Трехмерные геометрические модели локальной зоны, непрерывно формируемые в процессе движения, могут быть использованы для решения навигационной задачи при движении по пересеченной местности [6]. Решение навигационной задачи по последовательности геометрических моделей локальных зон позволит объединить (“склеить”) несколько локальных зон [7]. Тем самым увеличивается площадь, на которой планируется локальная траектория движения, что в свою очередь позволит МР выходить из лабиринтов и тупиковых зон, площадь которых превышает площадь зоны обзора системы технического зрения, и существенно повысить живучесть мобильного робота. Особенно перспективным в этом плане является использование для решения навигационной задачи последовательности формируемых в процессе движения формальных моделей локальных зон, так как формальная модель в отличие от геометрической является двумерной и позволяет существенно сократить объем вычислений и следовательно решить навигационную задачу в темпе движения (в реальном масштабе времени) на существующих программно-аппаратных средствах.

Заключение. Реализация предлагаемых подходов на базе ВПТЗ позволит:

1. Существенно повысить эффективность применения наземных МР за счет расширения зоны обзора, анализа окружающей обстановки и возможности оптимального планирования действий.
2. Обеспечить более раннее обнаружение объектов интереса, слежения и наведения.
3. Повысить эффективность наблюдений за счет установки ВПТЗ на различные типы мобильных и наземных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Носков В.П., Рубцов И.В. Опыт решения задачи автономного управления движением мобильных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 21-24.
2. Евсеев А.А., Носков В.П., Платонов А.К. Формирование электронной карты при автономном движении в индустриальной среде // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 2. – С. 41-45.
3. Аникин В.А., Ким Н.В. Носков В.П., Рубцов И.В. Мобильный робототехнический комплекс с системой технического зрения на базе БПЛА // Вопросы оборонной техники. Сер. 9. Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. – 2010. – Вып. 1 (242) – 2 (243). – С. 40-46.
4. Veselov V.A., Kuznetsov V.G., Mishkinuk V.K., Noskov V.P., Sologub P.S. Automated quaded vehicle control for territorially stationed flexible manufactures// Information control problems in manufacturing technology. 5IFAC (Suzdal, USSR), Moskou.1986. – P. 296-298.
5. Буйволов 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.
6. Носков В.П., Носков А.В. Навигация мобильных роботов по дальнометрическим изображениям // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 16-21.
7. Носков В.П., 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.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Н. Евдокименков.

Аникин Виктор Андреевич – ОАО «Камов», г. Люберцы; e-mail: v.anikin@kamov.ru; 140007, г. Люберцы, Московской области, ул. 8-го Марта, 8а; тел.: 84959944800 (д. 732); д.т.н.; главный конструктор.

Бодунков Николай Евгеньевич – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; e-mail: boduncov63@hotmail.com; 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4; тел.: 84991584549; кафедра 704; инженер.

Ким Николай Владимирович – e-mail: nkim2011@list.ru; кафедра 704; к.т.н.; профессор.

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.

Рубцов Иван Васильевич – e-mail: noskov_mstu@mail.ru; тел.: 84992636019; кафедра специальной робототехники и мехатроники; к.т.н.; НИИ специального машиностроения; начальник отдела.

Anikin Viktor Andreevich – PLC «Kamov»; e-mail: v.anikin@kamov.ru; 8a, 8 Marta street, Moskovskoj oblasti, Ljubercy, 140007, Russia; phone: +74959944800 (д. 732); dr. of eng. sc.; chief designer.

Bodunkov Nikolaj Evgenievich – Moscow Aviation Institute (National Research University); e-mail: boduncov63@hotmail.com; 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russia; phone: +74991584549; division 704; engineer.

Kim Nikolaj Vladimirovich – e-mail: nkim2011@list.ru; division 704; cand. of eng. sc.; professor.

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

Rubtsov Ivan Vasil'evich – e-mail: noskov_mstu@mail.ru; phone: +74992636019; the department of special robotics and mechatronics; cand. of eng. sc.; NIISM; head of department.

УДК 004.93.1

В.А. Бархоткин, В.Ф. Петров, М.П. Кочетков, Д.Н. Корольков
ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАЗЕМНОЙ
ОБСТАНОВКИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ
КОМПЛЕКСАМИ*

Повышение автономности мобильных роботизированных комплексов предполагает решение задачи идентификации наземной обстановки. В статье исследуются методы обработки изображений трехмерных наземных объектов. Обсуждаются этапы и исследованы методы обработки изображений при недостаточно определенной внешней среде. Задача распознавания легко решается человеком, однако она не решена в полной мере для роботов, функционирующих в недетерминированной обстановке в силу многочисленных причин. Изображения могут иметь разный масштаб. Объекты, которые человек воспринимает как одинаковые, на самом деле занимают разную площадь на различных изображениях. Интересующий объект может также находиться в разных местах изображения. Сложность решаемых задач предполагает построение обучающихся систем распознавания. Обучение является неотъемлемой составной частью распознающего процесса в условиях высокой неопределенности внешней среды и имеет своей конечной целью формирование эталонных описаний классов, форма которых определяется способом их использования в решающих правилах. Предложен метод статистической идентификации объектов с использованием параметрического обучения, чтобы компенсировать искажение изображений.

Алгоритм; обработка изображений; мобильный роботизированный комплекс; модель; объект.

* Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки России.