

Acknowledgements: This work was supported by Russian Science Foundation (project No. 16-11-00018).

For citation:

Karpova I. P. Concerning Presentation of a Route for a Mobile Robot Based on Visual Guides, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 2, pp. 81–89.

DOI: 10.17587/mau.18.81-89

References

1. **Karpov V. E.** *Modeli social'nogo povedeniya v gruppovoy robototekhnike* (Social behavior models in group robotics), *Management of big systems*, Moscow, IPU RAN, 2016, iss. 59, pp. 165–232 (in Russian).
2. **Kulinich A. A.** *Model komandnogo povedeniya agentov robotov kognitivnyy podhod* (Model of agents (robots) command behaviour: cognitive approach), *Management of big systems*, 2014, vol. 51, pp. 174–196 (in Russian).
3. **Thrun S.** Simultaneous localization and mapping (Review), *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 2008, vol. 38, pp. 13–41.
4. **Moller R., Vardy A.** Local visual homing by matched-filter descent in image distances, *Biological Cybernetics*, 2006, 95 (5), pp. 413–430. doi: 10.1007/s00422-006-0095-3
5. **Baddeley B., Graham P., Husbands P., Philippides A.** A model of ant route navigation driven by scene familiarity, *PLoS Computational Biology*, 2012, vol. 8, iss. 1, Article number e1002336.
6. **Kim P., Kurabayashi D.** Efficient formation of pheromone potential field by filtering interaction, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 2012, vol. 24, iss. 4, pp. 561–567.
7. **Hoff N., Wood R., Nagpal R.** Distributed colony-level algorithm switching for robot swarm foraging, *Springer Distributed Autonomous Robotic Systems*, 2013, pp. 417–430.
8. **Lee J.-H., Ahn C. W., An J.** A honey bee swarm-inspired co-operation algorithm for foraging swarm robots: an empirical analysis, *2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, IEEE, Novotel, Wollongong, Australia, 2013, pp. 489–493.

9. **Meng Z., Zou B., Zeng Y.** Considering direct interaction of artificial ant colony foraging simulation and animation, *J. Exp. Theor. Artif. Intell.*, 2012, 24 (1), pp. 95–107.
10. **Zedadraa O., Seridib H., Jouandeauc N., Fortinod G.** A Co-operative Switching Algorithm for Multi-Agent Foraging, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2016, vol. 50, pp. 302–319.
11. **Dlusskiy G. M.** *Muravi roda Formika* (Family Formicidae ants), Moscow, Nauka, 1967, 236 p. (in Russian).
12. **Zakharov A. A.** *Muravey, sem'ya, koloniya* (Ant, family, colony), Moscow, Nauka, 1978, 144 p. (in Russian).
13. **Kaluckaya A. P., Tarasov V. B.** *Modelirovanie vzaimodeystviya robota s vneshney sredoy na osnove prostranstvennykh logik i rasprostraneniya ogranicheniy* (Modelling robot's interaction with external environment on the basis of spatial logics and constraints propagation), *Software Products And Systems*, 2010, vol. 2, pp. 174–178 (in Russian).
14. **Karpov V. E.** *Chastnye mekhanizmy liderstva i samosoznaniya v gruppovoy robototekhnike* (Private mechanisms of leadership and consciousness in a swarm robotics), *Proc. of the XIII National Conference on artificial intelligence with the international participation (CAI-2012)*, Publishing house of BG TU, 2012, pp. 275–283 (in Russian).
15. **Muller M., Wehner R.** Path integration in desert ants, *Cataglyphis fortis*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 85: 5287–5290.
16. **Wehner R.** The architecture of the desert ant's navigational toolkit (Hymenoptera: Formicidae), *Myrmecol News* 12, Vienna, September 2009, pp. 85–96.
17. **Cetlin M. L.** *Issledovaniya po teorii avtomatov i modelirovaniyu biologicheskikh sistem* (Automata theory and modeling of biological systems), Moscow, Nauka, 1969, 316 p. (in Russian).
18. **Robot Operating System**, available at: <http://www.willowgarage.com/pages/software/ros-platform>
19. **Tarasov V. B.** *Granulyarnye struktury izmereniy v intellektualnykh sredakh vasilievskie i belnapovskie sensory i modeli ih vzaimodeystviya* (On granular structures of measurement in ambient intelligence systems: Vassiliev's and Belnap's sensors and their communication models), *Information-measuring and Control Systems*, 2013, vol. 11, no. 5, pp. 65–74 (in Russian).
20. **Karpov V. E.** Emotions and Temperament of Robots: Behavioral Aspects, *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2014, vol. 53, no. 5, pp. 743–760 (in Russian).

УДК 621.395

DOI: 10.17587/mau.18.89-93

Т. М. Волосатова, канд. техн. наук, доц., tamaravol@gmail.com,

Н. В. Чичварин, канд. техн. наук, доц., genrih.gertz@gmail.com,
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Комбинированная система технического зрения мобильных роботов

Рассматривается способ формирования панорамных изображений в сочетании с формированием детальных фрагментов пространства предметов для систем технического зрения мобильных роботов. Предложено формирование трехмерного изображения пространства предметов путем сочетания методов стереоскопии с методом структурной подсветки ("консайт"). При подготовке материалов публикации рассматривалась система, сочетающая обзорную панорамную СТЗ с оптикоэлектронной системой, реализующей метод "консайт" и одновременно стереозрение.

Ключевые слова: анализ, метод, панорамная камера, система, стереоскопия, структурная подсветка, техническое зрение

Введение

Задача формирования панорамных изображений в сочетании с формированием детальных фрагментов пространства предметов часто возникает при построении систем технического зрения мобильных роботов [1, 2]. В 2010–2011 гг. в рамках госбюджетных НИР были проведены теоретические исследования и разработан программный комплекс для дистанционного контроля и распознавания динамических 3D-объектов, а также адаптивные методы и средства распознавания 3D-объек-

тов для систем технического зрения, например систем, обеспечивающих анализ ситуации в рабочей зоне и свободном пространстве вблизи рабочей зоны робота, а также при создании систем охраны объектов, видеодетекторов движения и т.п. Кроме того, навигация мобильных роботов чаще всего должна проводиться с учетом трех координат в сочетании с детальным анализом отдельных объектов. В данной статье рассматривается задача обнаружения и распознавания динамических объектов в автоматизированной системе управления навига-

цией и манипуляцией. При этом делается общепринятое допущение, что система технического зрения (СТЗ) оперирует с некоторым набором конкретных объектов, модели которых должны быть предварительно получены либо каким-нибудь образом отмечены и выделены. Во внимание принимаются и динамические объекты, находящиеся в поле обзора СТЗ. Под полем обзора понимается область пространства предметов, образованная перемещающимся полем зрения СТЗ. Для прогнозирования возможностей робота по перемещению часто необходима оперативная оценка всего пространства, возможная при панорамировании. Панорамирование может быть осуществлено различными известными способами, рассмотренными в работах [4–6]. Формирование трехмерного изображения пространства предметов осуществляется методами триангуляции, голографии, стереоскопии. Известен активный способ "консайт", основанный на анализе искажений структурной подсветки. Как отмечалось выше, в управлении мобильными роботами нередко возникает задача распознавания отдельных сцен и объектов в поле зрения СТЗ в сочетании с "беглым" анализом пространства изображений, формируемых оптической системой (ОС) СТЗ. Указанный анализ осуществляется либо путем сканирования, либо многокамерными СТЗ. В данной статье рассматривается система, сочетающая обзорную панорамную СТЗ с оптикоэлектронной системой (ОЭС), реализующей одновременно метод "консайт" и стереозрение.

1. Аналитический обзор доступных публикаций

Анализ, проведенный с учетом работ [1–10, 13–15], показывает, что известные технические решения в обзорных СТЗ можно классифицировать следующим образом:

- применение сканирующих относительно узкопольных ОС;
- применение широкопольных ОС;
- применение купольных ОС;
- применение многокамерных систем.

Примером бескинематической СТЗ является многокамерная система, в которой отдельные камеры располагаются таким образом, чтобы совокупное поле зрения охватывало всю панораму [4]. При высоких технических характеристиках подобная система отличается большими габаритными размерами. Известна купольная оптическая система со сверхширокоугольным объективом типа "рыбий глаз". При малых габаритных размерах и дешевизне для нее характерно относительно низкое пространственное разрешение. Применение сканирующих систем ограничено недостатками механических сканеров, прежде всего, связанными с быстродействием. Необходимо отметить, что эти ограничения определяются не столько возможностями сервоприводов, сколько весьма возможным смазом регистрируемых изображений. Восстановление смазанных изображений возможно путем решения обратной задачи. Однако она не всегда

может быть оперативно решена даже с применением быстрых алгоритмов (быстрое преобразование Фурье (БПФ), быстрое преобразование Уолша (БПУ) и т.п.).

2. Формулировка цели и задач исследований

В данной работе ставилась цель разработать технический облик СТЗ, сочетающей достоинства несканирующих систем с возможностью обеспечения надежной навигации мобильных роботов. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- выбор способа компоновки многокамерной несканирующей СТЗ;
- поиск компактного решения задачи стереоскопии;
- поиск метода оперативного формирования пространственных изображений объектов в поле зрения СТЗ с управляемой точностью.

3. Основные результаты исследований

В качестве прототипа комбинированного устройства стереоскопической СТЗ выбрано устройство, рассмотренное в работах [3, 4] (рис. 1) — многокамерная СТЗ, сочетающая стереозрение с системой, реализующей метод "консайт" [5, 7, 11]. Каждую из камер многокамерной СТЗ предлагается снабдить составным объективом (рис. 2).

Метод "консайт" основан на том, что на контролируемый объект направляется излучение, про-

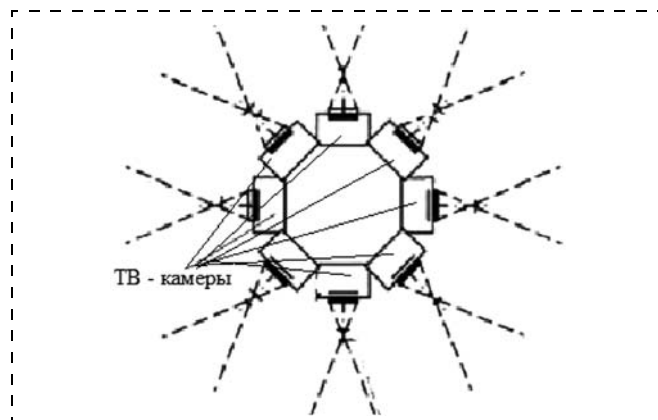


Рис. 1. Схема многокамерной СТЗ

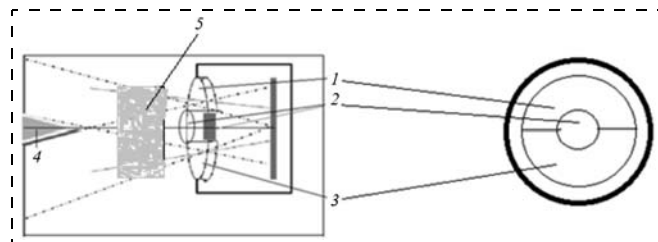


Рис. 2. Схема телевизионной камеры (ТВ-камеры): 1 и 2 — составная оптическая система, обеспечивающая стереозрение; 3 — ОЭС, реализующая метод "консайт"; 4 — область пространства предметов, в которой обеспечивается стереоскопический эффект; 5 — область пространства предметов, в которой реализуется метод структурной подсветки

дулированное пространственной решеткой [1, 2, 11] (рис. 3). О рельефе судят по искажению структуры решетки (рис. 4, а). Рельеф определяется по формуле

$$Z(X, Y) = \frac{\Delta Y}{\operatorname{tg} \alpha},$$

ΔY — искажение полосы (рис. 4, б); $\operatorname{tg} \alpha$ — тангенс угла между осью оптической системы подсветки и объективом приемной части.

Были рассмотрены две основные схемы получения стереоскопического изображения: параллельная и перекрестная, моделирующая конвергенцию глаз человека. В первом случае оси камер параллельны, что упрощает процесс съемки, поэтому параллельная схема применяется чаще. Во втором случае оси камер пересекаются, в результате получается более обширная зона наложения изображений, и вычисление расстояний до объектов не требует предварительного компенсационного сдвига,

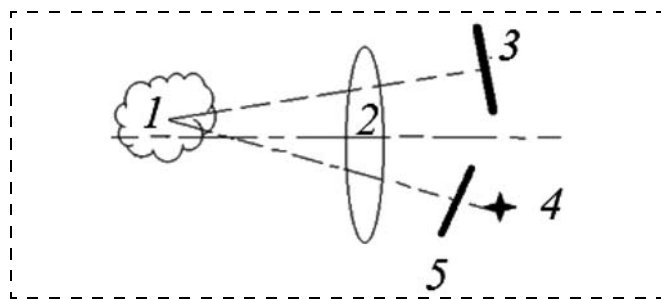


Рис. 3. Схема реализации метода "консайт":

1 — объект; 2 — объектив; 3 — многоэлементный приемник излучения (прибор с зарядовой связью (ПЗС)); 4 — источник подсветки; 5 — транспарант

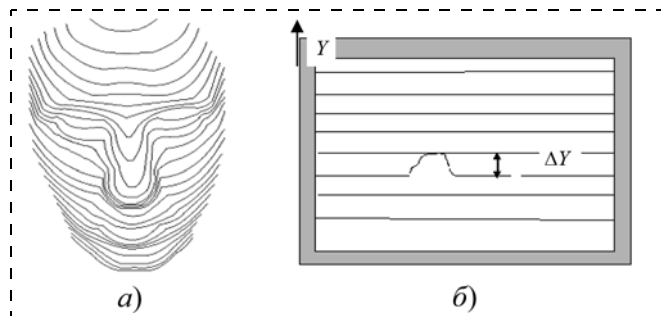


Рис. 4. Пример изображения полос на поверхности объекта (а) и формальной структуры искажений ΔY (б)

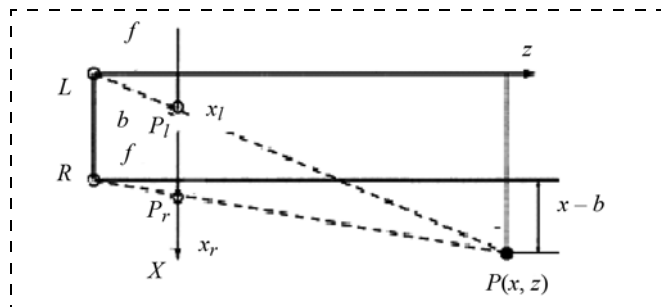


Рис. 5. Схема стереоскопической системы с параллельными осями составного объектива

как в первом случае. Общая схема получения стереоскопических изображений приведена на рис. 5, где две видеокамеры разнесены на некоторую базу за счет снабжения составным объективом. Каждая видеокамера имеет свой угол обзора, а пересечение углов обзора левой и правой видеокамер образует стереоклин. Определение расстояния возможно только в области стереоклина.

Решение задачи построения 3D-изображения включает два основных этапа:

- нахождение соответствующих точек на изображениях стереопары;
- вычисление объемных координат объектов, изображенных на стереопаре.

Общий принцип определения пространственного расположения точек может быть рассмотрен на примере параллельной схемы получения стереоскопического изображения (рис. 5). Оси X камер коллинеарны, а оси Y и Z обеих камер соответственно параллельны. Ось Y перпендикулярна плоскости рисунка. Начало координат, или центр проектирования правой камеры, смещен относительно центра левой камеры вдоль оси X на величину b , которая называется базой (baseline) стереоскопической системы. При наблюдении некоторой точки объекта P на левом изображении формируется точка P_L , а на правом — точка P_R . Из геометрических построений очевидно, что точка P лежит на пересечении лучей LP_L и RP_R .

В качестве общей системы координат выбрана система координат левой камеры L . Все координаты измеряются относительно базиса левой камеры L , за исключением x_r , которая измеряется относительно системы координат правой камеры R .

Для схемы, приведенной на рис. 5, справедливы уравнения (1) [4]

$$\begin{aligned} z &= fb/(x_l - x_r) = fb/d; \\ x &= x_l z/f = b + x_r z/f; \\ y &= y_l z/f = y_r z/f. \end{aligned} \quad (1)$$

В выражение для глубины точки P введена величина рассогласования d . Она равна разности координат x_l и x_r точек на левом и правом изображениях. Решение уравнений (1) дает все три координаты, полностью определяющие положение точки P в трехмерном пространстве. Из уравнений (1) следует, что расстояние до точки P увеличивается при уменьшении рассогласования и уменьшается при увеличении рассогласования. Расстояние стремится к бесконечности при приближении рассогласования к нулю.

При наблюдении реальных трехмерных сцен поиск соответствующих точек часто оказывается весьма сложной задачей, так как среди большого числа точек поверхностей может быть неясно, какие точки левого и правого изображений являются образами одной и той же точки трехмерной поверхности. Как правило, камеры в стереоскопических системах очень точно выравниваются так, чтобы ограничить область поиска соответствующих точек двух изображений в пределах строк анализатора изображения (в частности, ПЗС) с одинаковыми индексами.

Хотя для стереосистем известны и используются много различных ограничений, все еще остаются нерешенные проблемы. Одна из проблем возникает в случае, когда точка P видна только на одном изображении. Противоположная по смыслу проблема часто возникает при наличии слишком малого числа признаков точек. Эта проблема характерна для сцен с гладкими объектами без текстуры (например, таких, как покрытый снегом холм).

Наиболее сложные операции обработки в стереоскопических зрительных системах связаны не с вычислениями глубины, а с определением соответствующих признаков, которые необходимы для этих вычислений. Некорректно установленные соответствия приводят к ошибкам в значениях глубины. Ошибки могут приводить как к незначительным отклонениям от истинного значения, так и к полностью неверным результатам [9].

Один из самых распространенных методов обнаружения соответствия между пикселями двух изображений основан на использовании оператора кросс-корреляции. Для предлагаемой СТЗ рациональнее применять корреляционные методы — это нахождение пиксельных соответствий путем сравнения профилей яркости в окрестности потенциально соответствующих точек разных изображений объекта [8, 9]. Пиксель второго изображения, для которого достигается максимальный отклик оператора кросс-корреляции, считается наилучшим вариантом сопоставления для пикселя первого изображения и используется для вычисления глубины соответствующей пространственной точки.

Корреляционная функция двух функций $f(x, y)$ и $h(x, y)$ определяется следующим выражением:

$$f(x, y)h(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f^*(m, n)h(x+m, y+n),$$

где f^* обозначает функцию, комплексно-сопряженную функции f . В данном случае мы имеем дело с действительными функциями, где $f^* = f$.

Воспользовавшись теоремой о корреляции в частотной области, для $F(u, v)$ и $H(u, v)$ — Фурье-образов функций $f(x, y)$ и $h(x, y)$ — можно полагать, что корреляционная функция в пространственной области может быть получена как результат обратного преобразования Фурье, примененного к произведению $F^*(u, v)H(u, v)$, где функция F^* — комплексно-сопряженная с F . Различные способы обработки сигналов с применением такого алгоритма рассмотрены в работе [12].

Для проведения численных экспериментов авторами разработано программное средство для создания статического 3D-изображения по стереопарам в виде рельефной поверхности.

Обработка входных изображений в среде MATLAB проходит в три этапа:

- выполняется чтение выбранных изображений в формате jpg или bmp в трехмерный массив с RGB-представлением цветов. Далее происходит преобразование к формату представления HSV посредством встроенной функции `rgb2hsv(*)`, и на по-

следующую обработку отправляется уже только составляющая $V(\text{value})$ от каждого изображения для корректного вычисления кросс-корреляции;

- определяются соответствующие точки на двух изображениях с тем условием, что стереопара имеет только горизонтальный параллакс;
- в цикле для каждого пикселя левого изображения проводится поиск соответствующего пикселя правого изображения по результатам операции нормированной кросс-корреляции, которую выполняет встроенная функция `normxcorr2(*)`. Эта функция использует быстрое преобразование Фурье. На последнем этапе осуществляется вычисление объемных координат каждой точки изображения:
 - если база и/или фокус не заданы, то координата Z принимается равной горизонтальному параллаксу;
 - если база и фокус заданы, но нет угла конвергенции (или он равен нулю), то координата Z вычисляется по формуле (1);
 - если задан угол конвергенции осей фотокамер, то используется модифицированная формула параллакса для вычисления Z , а именно:

$$p = f \cos \alpha [\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \gamma],$$

$$\text{где } \beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{x_r}{f}\right) - \frac{\alpha}{2}, \gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{x_l}{f}\right) + \frac{\alpha}{2}.$$

Затем выполняется сглаживание поверхности по Z . Результатом работы программы является поверхность, отображающая рельеф объектов, запечатленных на изображениях стереопары. Пример одного из результатов приведен на рис. 6 (см. вторую сторону обложки).

На рис. 6 просматриваются полосы, спроецированные на объект для реализации метода "консайт". Настоящий пример позволяет считать, что полученные результаты в основном корректны. Изображение объекта с низким контрастом достаточно точно, т.е. артефакты отсутствуют (рис. 7, см. вторую сторону обложки). Однако из-за низкого контраста некоторые детали не просматриваются. Естественно полагать, что структурная подсветка позволила бы уточнить значения профиля поверхности. На рис. 8 (см. вторую сторону обложки) приведено изображение профиля поверхности при наличии артефактов. Их появление обусловлено ошибками в определении фокусного расстояния объектива и базы. Рассмотренный метод обработки стереопар оказался весьма критичным к такого рода ошибкам. Поэтому предложено комбинировать алгоритм формирования стереопар с алгоритмом, использующим структурную подсветку.

Заключение

Проведенные исследования позволяют заключить, что предложенная схема комбинированной СТЗ работоспособна. Показано, что корреляционный алгоритм формирования профиля пространства предметов совместно с реализацией метода "консайт" позволяют обеспечить эффективную работу предложенной СТЗ.

Список литературы

1. Волосатова Т. М., Горин Я. А., Марченков А. М. Разработка программного обеспечения для формирования и обработки стереоизображений // Научные технологии и интеллектуальные системы: Тезисы доклада. XIII МНТК. Москва, МГТУ, 2011. С. 179—183.
2. Волосатова Т. М., Шмакова Н. А. Построение статического 3D изображения с использованием корреляционного метода // Научные технологии и интеллектуальные системы: Тезисы доклада. XIII МНТК. Москва, МГТУ, 2011. С. 192—195.
3. Техническое зрение роботов / Под ред. А. Пью; Пер. с англ. Д. Ф. Миронова под ред. Г. П. Катуса. М.: Машиностроение, 1987. С. 320.
4. Ларкин Е. В., Котов В. В., Котова Н. А. Система технического зрения с панорамным обзором // Известия Тульского государственного университета. 2009. № 2—1. С. 161—168.
5. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Бондаренко А. В., Ососков М. В., Моржин А. В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. М.: Физматкнига, 2010. 672 с.
6. Грязин Г. Н. Оптико-электронные системы для обзора пространства. Л.: Машиностроение, 1988. 224 с.
7. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 616 с.

8. Форсайт Дэвид А., Понс Жан. Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. 928 с.
9. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
10. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
11. Устройство для бесконтактного контроля линейных размеров трехмерных объектов: Патент № 2199717 РФ / Климов А. В., Чичварин Н. В., Юхин А. Л. опубл. 27.02.2003.
12. Волосатова Т. М., Марченков А. М., Чичварин Н. В. Исследования и разработка комбинированного метода обнаружения и распознавания движущихся объектов // Информационные технологии. Приложение. 2013. № 12. С. 24—31.
13. Radu Bogdan Rusu, Andreas Holzbach, Nico Blodow, Michael Beetz. Fast Geometric Point Labeling using Conditional Random Fields. Intelligent Autonomous Systems, Technische Universit at Munchen, 2009.
14. Richard J. Cambell and Patrick J. Flynn. A survey of free-form object representation and recognition techniques // Computer Vision and Image Understanding. 2001. (81): с. 166—210.
15. Anil J. Jain and Chitra Dorai. 3d object recognition: Representation and matching // Statistics and Computing. 2000. (10). P. 167—182.

Combined Vision System for Mobile Robots

T. M. Volosatova, tamaravol@gmail.com✉, N. V. Chichvarin, genrih.gertz@gmail.com,
Bauman Moscow State Technical University, Moscow 105005, Russian Federation

Corresponding author: Volosatova Tamara M., Ph. D., Associate Professor,
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation,
e-mail: tamaravol@gmail.com

Received on April 23, 2016

Accepted on May 11, 2016

The article is devoted to examination of the method for formation of a panoramic image in conjunction with formation of detailed fragments of space objects for the vision systems of the mobile robots. As is known, navigation of the mobile robots often should take into account three coordinates in conjunction with a detailed analysis of the individual objects. It is a common assumption that a vision system operates with a certain set of specific objects, which must be prepared or in some way marked and allocated. The dynamic objects also should be taken into account in the field review. It is proposed that the formation of three-dimensional images of the space objects should be done by combining the stereoscopy methods and highlighting the structural aspect. In preparation of the materials for publication a system was considered which combines vision with a panoramic optoelectronic system, which implements the method of the structural illumination and stereovision, at the same time.

Keywords: analysis method, panoramic camera system, stereoscopy, structural, lighting, machine vision

For citation:

Volosatova T. M., Chichvarin N. V. Combined Vision System for Mobile Robots, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 1, pp. 89—93.

DOI: 10.17587/mau.18.89-93

References

1. Volosatova T. M., Gorin, Y. A., Marchenkov A. M. *High Technologies and Intellectual Systems*: Theses of the report. XIII of the ISTC, Moscow, MSTU, 2011, pp. 179—183 (in Russian).
2. Volosatova T. M., Shmakova N. A. *High Technologies and Intellectual Systems*: Theses of the report. XIII of the ISTC, Moscow, MSTU, 2011, pp. 192—195 (in Russian).
3. Pugh A. *Technical vision of robots*. Trans. from English. D. F. Mironov, ed. by G. P. Katys, Moscow, Mashinostroenie, 1987. 320 p. (in Russian).
4. Larkin E. V., Kотов V. V., Kотова N. A. *The System of technical vision with panoramic view*, Izvestiya of the Tula state University, 2009, no. 2—1, pp. 161—168 (in Russian).
5. Vizilter Yu., Zheltov S. Yu., Bondarenko A. V., Ososkov M. V., Morgins A. V. *Processing and analysis of images in tasks of machine vision*, Moscow, Fizmatkniga, 2010, 672 p.

6. Gryazin G. N. *Optoelectronic system to review the space*, Leningrad, Mashinostroenie, 1988, 224 p. (in Russian).
7. Gonzalez R., Woods R., Eddins S. *Digital image processing in MATLAB*, Moscow, Technosphere, 2006, 616 p. (in Russian).
8. Forsyth David A., Ponce Jean. *Computer vision. Modern approach*: Trans. from English, Moscow, Publishing house "Williams", 2004, 928 p. (in Russian).
9. Shapiro L., Stockman J. *Computer vision*: Trans. from English, Moscow, BINOM. Knowledge laboratory, 2006, 752 p. (in Russian).
10. Gonzalez R., Woods R. *Digital image processing*, Moscow, Tekhnosfera, 2005, 1072 p. (in Russian).
11. Klimov A. V., Chichvarin N. V., Yukhin, A. L. *Device for contactless control of linear sizes of three-dimensional objects*. Patent number 2199717 RF / publ. 27.02.2003 (in Russian).
12. Volosatova T. M., Marchenkov, A. M., Chichvarin N. V. *Integration Technology*. App., 2013, no. 12, pp. 24—31 (in Russian).
13. Radu Bogdan Rusu, Andreas Holzbach, Nico Blodow, Michael Beetz. *Fast Geometric Point Labeling using Conditional Random Fields*. Intelligent Autonomous Systems, Technische Universit at Munchen, 2009.
14. Richard J. Cambell and Patrick J. Flynn. *Computer Vision and Image Understanding*, 2001, (81), pp. 166—210.
15. Anil J. Jain and Chitra Dorai. *Statistics and Computing*, 2000, (10), pp. 167—182.