

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.932.2

МЕТОДИКА СИНТЕЗА ОБРАЗА ИСКУССТВЕННОГО МАРКЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

С.В. САЙ
Д.С. ЧЕМЕРИС

*Тихоокеанский
государственный
университет,
г. Хабаровск*

*e-mail: sai@evm.khstu.ru
denischemeris@gmail.com*

В работе описывается процесс формирования структуры образа искусственного маркера для решения задачи определения параметров относительного положения робототехнического объекта, на примере автономного необитаемого подводного аппарата, с применением методов цифровой обработки изображений и распознавания образов. Для учета инвариантных свойств перспективной группы геометрических трансформаций выполняется компьютерное моделирование с целью определить наиболее оптимальный базовый элемент структуры маркера. Результаты моделирования позволят перейти к процессу формирования оптимального образа искусственного маркера.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, распознавание образов, образ искусственного маркера, инвариантные свойства, коэффициент двойного отношения.

Введение.

С каждым годом растет интерес разработчиков и исследователей к наделению робототехнических объектов (РО) все большим числом функций, выполняемых в автономном режиме, что связано как с ростом сложности решаемых задач, так и с растущими возможностями современных средств вычислительной техники. К РО можно отнести различного назначения необитаемые (беспилотные) автономные аппараты, роботы гражданского и военного применения, промышленные роботы и т.д.

Одним из перспективных и активно развивающихся направлений в области применения автономных РО является исследование мирового океана и применение автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Выполнение широкого круга задач с помощью АНПА сопряжено с их длительным пребыванием под водой. Время пребывания АНПА под водой ограничено в силу ограниченности запаса энергоресурсов. Одним из решений данной проблемы является разработка методов автоматического наведения АНПА для стыковки к док-станции с целью подзарядки аккумуляторов и выполнения информационного обмена. Процесс автоматического наведения заключается в выполнении двух этапов: получение значений параметров относительного положения

(ПОП) и формирование команд системе управления АНПА для выдерживания траектории наведения. К ПОП, в данном случае, относятся такие параметры как: дальность, курс, крен и дифферент.

Известны различные способы получения значений ПОП АНПА: использование электромагнетизма [1, 2], акустические [3-5] и визуальные методы [6-11]. В силу того, что одним из наиболее емких источников информации под водой являются видеоизображения, АНПА, в большинстве случаев, оснащены видеокамерой, наибольший интерес вызывают методы визуального получения значений ПОП, основанные на цифровой обработке изображений и распознавании образов.

Среди алгоритмов получения значений ПОП АНПА на основе визуального метода наиболее применимыми являются те, которые используют известный образ искусственного маркера. Анализируя работы [6-11] можно сделать вывод о том, что представленные алгоритмы определения параметров ПОП исходят из того, что соотношения между объектами сцены и объектами на изображении не учитывают инвариантные свойства перспективной группы геометрических трансформаций (ПГТ), что накладывает ограничения на возможное положение камеры. При отклонении положения камеры от параллельного расположения относительно сцены более чем на 10° [1] приводит к полному отказу алгоритмов распознавания. Как это показано на рисунке 1, существующие алгоритмы позволяют распознавать образ маркера только в $\sim 10\%$ возможных положений.

Задача, решаемая в данной работе, заключается в увеличении числа возможных положений камеры в ближней зоне, при которых возможно выполнить распознавание образа маркера. В работе предложена методика формирования образа искусственного маркера с учетом произвольного положения камеры внутри ближней зоны и инвариантных свойств ПГТ.

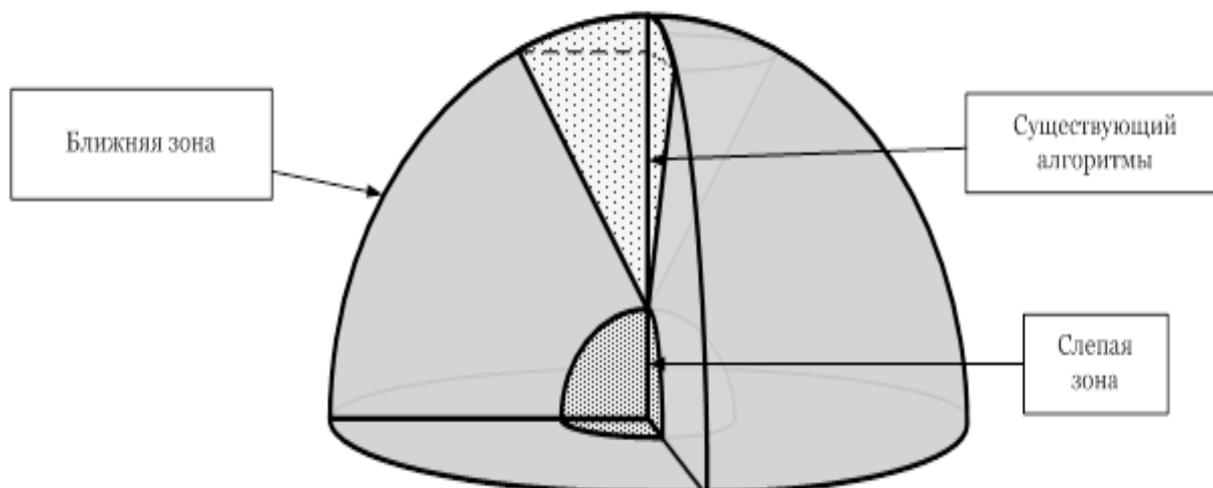


Рис.1. Возможные положения камеры в пространстве ближней зоны при использовании существующих алгоритмов

Следует отметить, что существует «слепая зона», внутри которой отсутствует возможность распознавания образа маркера из-за ограниченности поля зрения камеры. В таких положениях образ маркера не поместится в кадр полностью, поэтому к этому моменту аппарат находится в удобном для выполнения стыковки положении.

Методика формирования образа искусственного маркера

Любое изображение, полученное с видеокамеры, является результатом перспективной (центральной) проекции на плоскость, поэтому необходимо учитывать инвариантные свойства ПГТ при построении образа искусственного маркера. Фундаментальным инвариантом, как указано в [12], является коэффициент двойного отношения (КДО) η , описанный соотношением (1), иллюстрацией КДО служит рисунок 2.

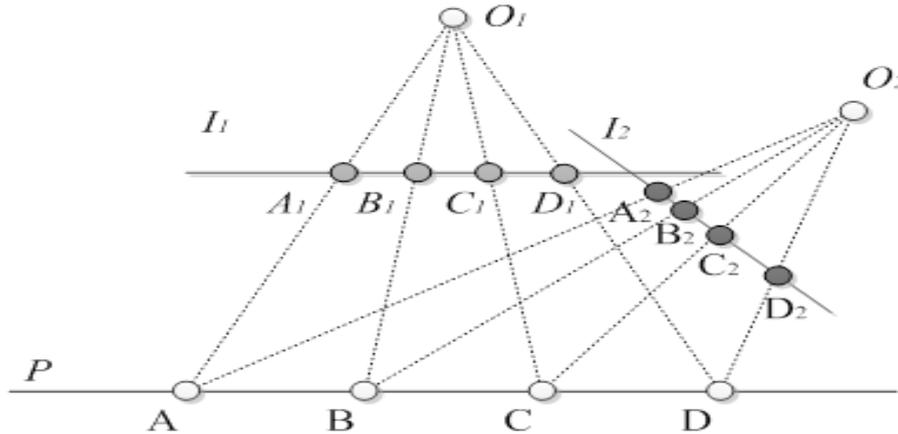


Рис. 2. Иллюстрация инвариантности коэффициент двойного отношения

$$\eta = \frac{CA}{CB} \div \frac{DA}{DB} = \frac{C_1A_1}{C_1B_1} \div \frac{D_1A_1}{D_1B_1} = \frac{C_2A_2}{C_2B_2} \div \frac{D_2A_2}{D_2B_2} \quad (1)$$

где O_1 и O_2 – центры проецирования; I_1 и I_2 – плоскости проецирования; $[A_1, B_1, C_1, D_1]$ и $[A_2, B_2, C_2, D_2]$ – проекции множества точек $[A, B, C, D]$ на плоскости I_1 и I_2 соответственно.

Согласно (1), отношение расстояний между коллинеарными точками является инвариантом. Учитывая данное обстоятельство, целесообразно формировать структуру маркера из дискретных объектов, физическим аналогом которым могут быть как разного рода источники света (светодиоды, лампы и т.д.), так и контрастные объекты (белые полусферы на черной поверхности и т.д.).

Последовательность из четырех коллинеарных дискретных объектов назовем линейкой дискретных объектов (ЛДО). Для получения оптимальной, с точки зрения различимости на изображении, структуры маркера необходимо задаться некоторым множеством ЛДО (МЛДО), взаимное расположение которых и определит структуру маркера.

Для формирования МЛДО допустим, что дискретные объекты внутри ЛДО расположены на отрезке единичной длины, а крайние объекты S_1 и S_4 попадают соответственно на начало и конец отрезка. Таким образом, конфигурация будет зависеть только от положения S_2 и S_3 , как это показано на рис. 3. Для получения всех возможных положений S_2 и S_3 зададимся шагом ξ , который зависит от параметра ρ_p , характеризующего физический размер дискретного объекта, и его расположение в ЛДО.

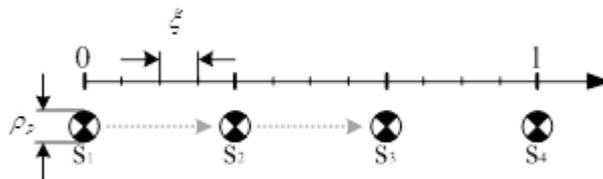


Рис. 3. Расположение дискретных объектов внутри ЛДО

Отсюда следует, что число возможных конфигураций ЛДО N будет определяться по формуле:

$$N = \frac{1 + \binom{1/\rho_p - 2}{\xi}}{2} \binom{1/\rho_p - 2}{\xi} \quad (2)$$

Ввиду того, что после прохождения S_2 отметки 0,5 конфигурации ЛДО начинают повторяться из них уникальных конфигураций:

$$n = \left(\frac{5}{4\xi} - 1 \right) \left(\frac{1}{2\xi} - 1 \right) + 1 \quad (3)$$

Основным критерием при выборе оптимальной конфигурации ЛДО из n -возможных является значение коэффициента промахов M , представленного соотношением:

$$M = \frac{m(\rho_i)}{N} \cdot 100\% \quad (4)$$

где N – общее число возможных положений камеры в ближней зоне; $m(\rho_i)$ – число положений камеры в ближней зоне, с которых определение КДО ЛДО не представляется возможным, т.е. увеличивает свое значение в двух возможных случаях: когда не все элементы ЛДО попали в поле зрения камеры, т.е. на изображении отсутствуют их проекции; когда расстояние между соседними проекциями оказывается меньше параметра ρ_i ; ρ_i – параметр, учитывающий минимальное расстояние между соседними проекциями P_i и P_{i+1} в плоскости I , при котором возможно определение КДО ЛДО.

Таким образом, для определения M для каждого положения камеры исходя из координат проекции P_i , вычисляется значение $m(\rho_i)$. Оптимальная конфигурация ЛДО, с точки зрения распознавания на изображении, соответствует минимальному значению M .

Другим важным параметром является величина модуля отклонения ϵ КДО η_p , вычисленного для конфигурации ЛДО лежащей в плоскости сцены E , от КДО η_i , полученного в результате процирования ЛДО на плоскость изображения I .

$$\epsilon = |\eta_p - \eta_i| \quad (5)$$

Для каждой конфигурации ЛДО наибольший интерес представляет наибольшее значение

$$\epsilon_{\max} = \max_{i=0}^{N-1}(\epsilon_i) \quad (6)$$

где ϵ_{\max} – коэффициент, показывающей в каких пределах может изменяться ошибка определения КДО заданной ЛДО среди всех возможных положений камеры в ближней зоне.

При равных значениях коэффициента M для разных конфигураций ЛДО, критерием выбора оптимального будет наименьшее значение выражения:

$$\epsilon_{\min} = \min_{j=0}^{n-1}(\epsilon_{\max,j}) \quad (7)$$

МЛДО должно состоять из элементов, удовлетворяющих следующему условию $\Delta_j > 0$, заданному соотношением:

$$\Delta_j > 0 = \begin{cases} (\eta_j - \eta_\delta) - (\epsilon_{\delta,\max} + \epsilon_{\max,j}), & \text{если } \eta_\delta \geq \eta_j \\ (\eta_\delta - \eta_j) - (\epsilon_{\delta,\max} + \epsilon_{\max,j}), & \text{если } \eta_\delta < \eta_j \end{cases} \quad (8)$$

где Δ_j – величина, показывающая ширину «защитного» интервала между двумя ЛДО с η_δ и η_j ; η_δ – КДО такой конфигурации ЛДО, которой соответствует ϵ_{\min} ; η_j – значения КДО оставшихся $(n-1)$ -конфигураций для которых $\epsilon_{\max,j} > \epsilon_{\min}$.

Компьютерное моделирование

На рисунке 4 представлены параметры системы, которые позволяет контролировать и изменять разработанная компьютерная модель.

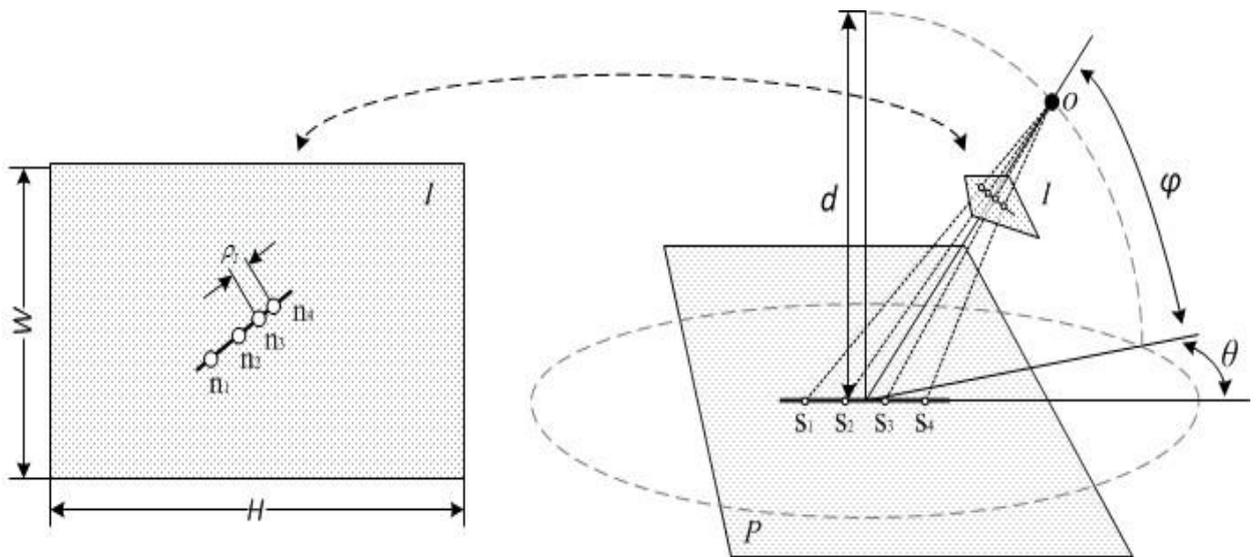


Рис. 4. Параметры системы при выполнении компьютерного моделирования

Построим графики зависимости величины M при следующих диапазонах значений параметров системы: курс $\theta = \{n \in \mathbf{N} \mid n < 360\}$ град.; дифферент $\varphi = \{n \in \mathbf{N} \mid n < 90\}$ град.; дистанция $d = \{n \in \mathbf{N} \mid n \leq 20\}$ м.; угол обзора камеры $\alpha = 90^\circ$; фокусное расстояние камеры $f = 45$ мм; разрешение изображения $H \times W = 1$ МПикс; длина ЛДО $L = 1,5$ м; параметр $\rho_I = 10$ пикс. и параметр $\rho_P = 5$ см.

Результаты компьютерного эксперимента представлены на рис. 5-6. Для выбора оптимального значения конфигурации рассмотрим только те, у которых $M < 5\%$, что соответствует значениям $\varphi = \{n \in \mathbf{N} \mid n < 10\}$ (наиболее маловероятные положения АНПА). При этом на рис. 5 представлены все варианты ЛДО, а на рис. 6 показаны только те варианты, которые удовлетворяют условию $M < 5\%$.

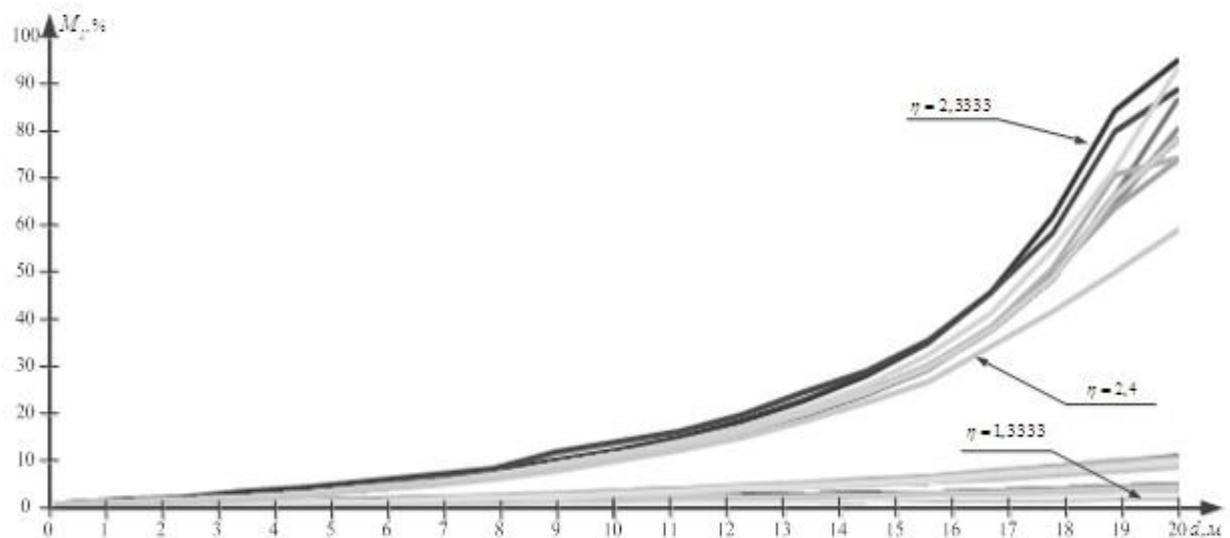


Рис. 5. Результаты компьютерного эксперимента

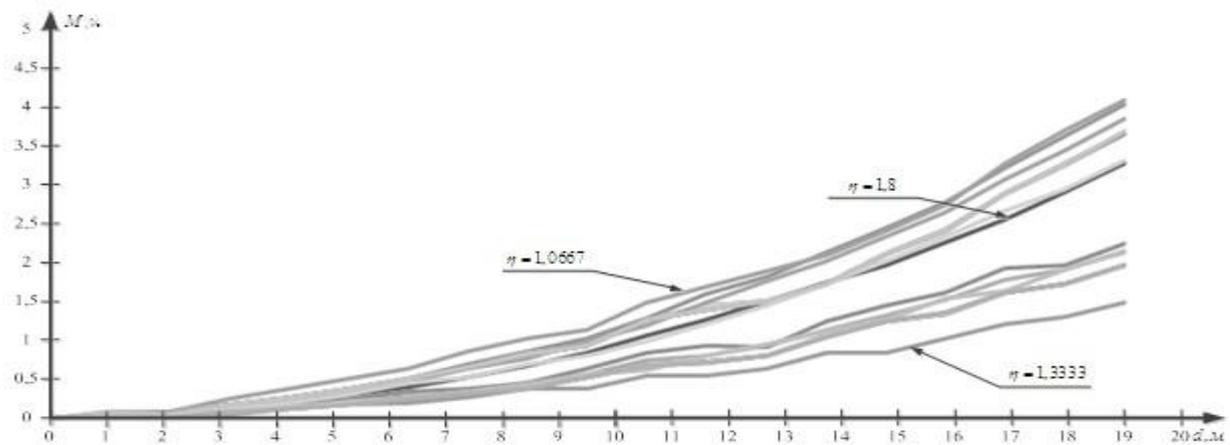


Рис. 6. Результаты компьютерного эксперимента при $M < 5\%$

По результатам компьютерного моделирования в качестве базового КДО выбран $\eta_0 = 1,3333$, при этом величина отклонения составляет $\epsilon_0 = 0,15$. Для получения ЛДО, удовлетворяющих условию Δ_j обратимся к графику на **рисунке 7**. На рисунке представлены значения ширины защитного интервала Δ_j для тех ЛДО, для которых $M < 5\%$.

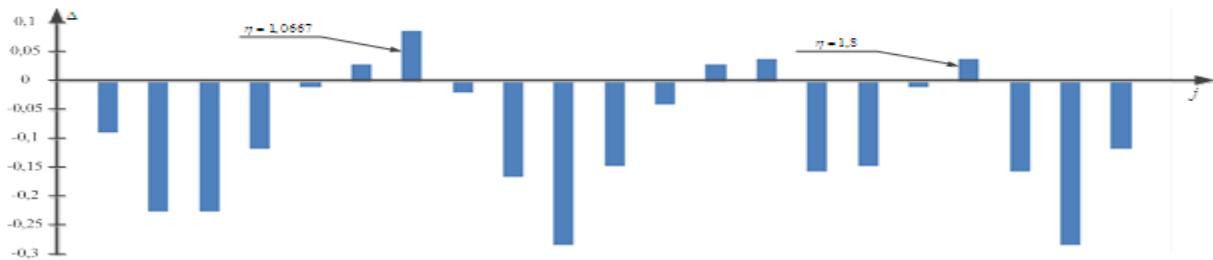


Рис. 7. Показатель ширина защитного интервала Δ_j для ЛДО при $M < 5\%$

Исходя из данных моделирования, наиболее оптимальной конфигурацией являются ЛДО с $\eta_1 = 1,8$ при $\epsilon_{\max,1} = 0,28$ и $\eta_2 = 1,0667$ при $\epsilon_{\max,2} = 0,03$, обладающие наиболее широкими защитными интервалами.

Заключение

В работе описывается процесс формирования структуры образа искусственного маркера для решения задачи определения ПОП робототехнического объекта, на примере АНПА, с применением методов цифровой обработки изображений и распознавания образов. Для учета инвариантных свойств перспективной группы геометрических трансформаций выполняется компьютерное моделирование с целью определить наиболее оптимальный базовый элемент структуры маркера.

По результатам компьютерного моделирования в качестве базового КДО выбран $\eta_0 = 1,3333$, при этом величина отклонения составляет $\epsilon_0 = 0,15$, а наиболее оптимальной конфигурацией ЛДО, удовлетворяющих условию Δ_j являются: $\eta_1 = 1,8$ при $\epsilon_{\max,1} = 0,28$ и $\eta_2 = 1,0667$ при $\epsilon_{\max,2} = 0,03$, обладающие наиболее широкими защитными интервалами.

Результаты моделирования позволят перейти к процессу формирования оптимального образа искусственного маркера.

Литература

1. Feezor M.D., Yates Sorrell F., Blankinship P.R., Bellingham J.G. Autonomous underwater vehicle homing-docking via electromagnetic guidance // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2001. – №26. – С. 515-521.
2. Stokey R., Allen B., Austin T., Goldsborough R., Forrester N., Purcell M., von Alt C. Enabling technologies for REMUS docking: an integral component of an autonomous ocean-sampling network // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2001. – №26. – С. 487-497.
3. Воронцов А.В., Кушнерик А.А., Щербатюк А.Ф. Некоторые алгоритмы приведения малого аппарата к донной станции в ближней зоне на основе обработки визуальной информации // Материалы третьей всероссийской научной конференции «Технические проблемы освоения мирового океана». – Владивосток: 2009. – С. 399-404.
4. Яне Б. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
5. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. – 2-е изд. – New York: Cambridge University Press, 2004. – 655 с.
6. Allen B., Austin T., Forrester N., Goldsborough R., Kukulya A., Packard G., Purcell M., Stokey R. Autonomous Docking Demonstrations with Enhanced REMUS Technology // OCEANS 2006. – 2006. – С. 1-6.
7. Stokey R., Purcell M., Forrester N., Austin T., Goldsborough R., Allen B., von Alt C. A docking system for REMUS, an autonomous underwater vehicle // OCEANS 1997. – 1997. – №2. – С. 1132-1136.
8. Sorrell F.Y., Curtin T.B., Feezor M.D. An electromagnetic current meter-based system for application in unsteady flows // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 1990. – №15. – С. 373-379.
9. Борейко А.А., Воронцов А.В., Кушнерик А.А., Щербатюк А.Ф. Алгоритмы обработки видеоизображений для решения некоторых задач управления и навигации автономных необитаемых подводных аппаратов // Подвод. исследования и робототехника. – Владивосток: 2010. – С. 29-39.
10. Павин А.М. Об одном алгоритме распознавания объектов произвольной формы на подводных фотоизображениях // Материалы третьей всероссийской научной конференции «Технические проблемы освоения мирового океана». – Владивосток: 2011. – С. 334-338.
11. Чемерис Д.С., Бурдинский И.Н. Определение относительного положения на основе обработки видеоизображений // Цифровая обработка сигналов. – 2010. – №2. – С. 57-59.
12. Hong Y.-H., Kim J.-Y., Lee P.-M., Jeon B.-H., Oh K.-H., Oh J.-ho. Development of the homing and docking algorithm for AUV // Proceedings of The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. – Hawaii: 2003. – С. 205-212.
13. Park J.-Y., Jun B.-H., Lee P.-M., Lee F.-Y., Oh J.-ho. Experiment on Underwater Docking of an Autonomous Underwater Vehicle ISIMI using Optical Terminal Guidance // OCEANS 2007. – 2007. – С. 1-6.

THE TECHNIQUE FOR IMAGE OF AN ARTIFICIAL MARKER FOR SOLUTION OF DETERMINING THE PARAMETERS OF ROBOTS RELATIVE POSITION

S.V. SAI
D.S. CHEMERIS

Pacific National University, Habarovsk

e-mail: sai@evm.khstu.ru denischemeris@gmail.com

The process of forming of image for artificial marker structure for solving a problem of robot relative position parameters determining, on example of an autonomous unmanned underwater vehicles, using the

methods of digital image processing and pattern recognition is described. To account for invariant properties of projective group of transformations on the image plane performed computer simulations to determine the optimal structure of a basic element of the token. The simulation results to move to the process of creating the optimal way of artificial marker.

Key words: digital image processing, pattern recognition, image of an artificial marker, invariant properties, double ratio.