



УДК 004.932.2

© 2019 г. **В.А. Бобков**, д-р техн. наук,

А.П. Кудряшов, канд. техн. наук

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СЦЕНЕ*

Предложен алгоритм идентификации объектов в динамической сцене по видеоинформации. Алгоритм основан на использовании точечного представления объектов. Приведены результаты экспериментов с модельными данными.

Ключевые слова: динамический объект, точечная модель, 3D облако, идентификация объектов, метод визуальной навигации.

DOI: 10.22250/isu.2019.59.131-139

Введение

Важной задачей в решении проблемы восстановления движения и структуры динамических сцен по видеопотоку является задача идентификации статических и динамических объектов (ДО). Алгоритмы идентификации объектов и формирования их графических моделей используются при вычислении траекторий и 3D реконструкции объектов. Существуют разные подходы к обработке динамических сцен – с использованием силуэтов, цвета/стерео, освещенности и движения, карт глубин, глобальной точечной модели и других параметров, извлекаемых из видео, чтобы восстановить геометрию динамических элементов сцены. С некоторыми из них можно ознакомиться в [1 – 7]. Вместе с тем в ряде работ указывается на необходимость повышения эффективности существующих программно-алгоритмических средств в этом направлении.

В настоящей статье предлагаются оригинальные алгоритмы идентификации ДО, основанные на анализе точечного представления объектов. Пред-

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № №18-07-00165), Программы «Дальний Восток» (проект 18-5-014), и Программы Президиума РАН № 27.

ставленные результаты получены в рамках развития авторского подхода, описанного в [8]. Рассматриваются ДО с неизменяемой геометрической формой при движении. В алгоритмах используется ранее разработанный авторами метод визуальной навигации автономного подводного робота (АПР) применительно к статическим сценам. При подготовке входных данных и тестировании предложенной алгоритмической базы применялся авторский имитационный моделирующий комплекс [9].

Описание общего подхода. Постановка задачи

Расчет траекторий движения камеры и ДО выполняется пошагово, т.е. в текущий момент времени вычисляются параметры движения на участке от предыдущей позиции АПР (камеры) до текущей позиции. Входной информацией служат две стереопары снимков, относящиеся к указанным позициям. Величину шага, т.е. расстояние между двумя соседними позициями, можно измерять в разных метриках: в единицах длины пройденного АПР (камерой) пути, временем прохождения этого пути или числом снимков/кадров в шаге (поскольку съемка камерой ведется с известной фиксированной частотой). На каждом очередном шаге последовательно решается несколько задач, в результате чего вычисляется локальное геометрическое преобразование, определяющее относительное движение на данном участке. Согласно методу визуальной одометрии последовательность относительных перемещений определяет всю траекторию движения. Однако сложность восстановления траекторий ДО, в отличие от обработки статических сцен, заключается в том, что собственное движение ДО нужно выделять в фиксируемом камерой комплексном движении (на снимках фиксируется результат одновременного движения камеры и ДО). Дополнительная трудность состоит в том, что ДО появляются в сцене в произвольные, непредсказуемые моменты времени движения камеры.

К числу упомянутых выше задач, которые необходимо решать на каждом шаге, относятся:

выделение сопоставленного множества 2D особенностей на изображениях двух стереопар текущей и предыдущей позиции;

построение двух сопоставленных 3D облаков точек, которые являются входной информацией для вычисления относительного движения камеры и движения каждого ДО;

формирование в текущей позиции множества 3D точек, полученного дальномером (заметим, что это множество не сопоставлено с соответствующими множествами соседних позиций);

остроение моделей ДО сцены и выделение статической части сцены;

идентификация ДО в текущей позиции по отношению к предыдущей позиции для прослеживания и формирования всей траектории движения ДО в сцене;

вычисление собственного движения ДО.

Первые две задачи решаются традиционными средствами, в частности используются авторские разработки [10, 11]. Для решения задач идентификации ДО и вычисления их траекторий предлагается оригинальная алгоритмическая база, основанная на применении: а) плотного точечного представления объектов; б) метода визуальной одометрии; в) критерия «жесткости» (неизменяемость формы объекта при движении) и критерия «связности» (гладкость фрагментов поверхности объекта), позволяющих строить точечные модели объектов. Предполагается, что плотное точечное представление объектов может быть получено с помощью лазерного дальномера или виртуальным дальномером [12].

Идентификация динамических объектов

В работе [8] был предложен алгоритм идентификации объектов в динамической сцене с использованием критерия «жесткости», который учитывает факт сохранения расстояний между точками твердотельного объекта при его движении. Алгоритм позволяет сортировать видимые 3D точки сцены по сходству движений. Вместе с тем была отмечена возможность неоднозначной интерпретации принадлежности точек при применении этого критерия. Поэтому в настоящей работе предлагается методика, основанная на алгоритмической базе, реализующей два критерия идентификации – критерий «связности» и критерий «жесткости», что повышает достоверность идентификации. Критерий «связности» позволяет проверять непрерывность видимых участков поверхностей и применим при наличии плотного точечного представления объектов сцены. Согласно предлагаемой методике идентификация и построение 3D точечной модели объектов выполняется в два этапа. Вначале работает алгоритм с применением критерия «связности», который, используя «затравочные» точки, формирует группы точек, представляющие отдельные фрагменты видимых поверхностей объектов. Каждая «затравочная» точка служит стартовой точкой для работы алгоритма с критерием

«связности». На втором этапе отдельные группы точек со сходным движением (уже на основе критерия «жесткости») объединяются в множества точек, каждое из которых представляет полную точечную модель объекта.

Алгоритм формирования групп точек по критерию связности

Алгоритм относится к затравочному типу алгоритмов, которые требуют предварительного указания затравочной точки. В данном случае затравочные точки выбираются алгоритмически в пространстве сцены из множества всех 3D точек, представляющих видимые (камерой) объекты сцены. Все пространство структурируется наложением регулярной 3D решетки, в ячейках которой распределяется всё исходное множество точек. В каждой ячейке выбирается одна точка, которая служит затравочной точкой для данного фрагмента поверхности. Очевидно, что при таком способе выбора затравочных точек одному объекту может быть приписано несколько затравочных точек. Однако это не является недостатком, поскольку, как было отмечено выше, на этапе объединения однотипных групп точек для каждого объекта будет сформировано полное множество точек, представляющее данный объект. Это множество будем называть точечной моделью объекта. Предлагаемый алгоритм формирования групп точек основывается на принципе роста/расширения фрагмента поверхности за счет присоединения соседних точек, отвечающих критерию связности. Стартовой точкой для работы алгоритма служит затравочная точка (заведомо принадлежащая объекту), которая сразу помещается в формируемую группу. Для каждой из соседних с ней точек проверяется критерий связности. Те точки, которые удовлетворяют критерию связности, помещаются в формируемую группу. Процесс итеративный – для каждой из вновь помещенных в формируемую группу точек ищутся соседние точки и для них выполняется проверка на соответствие критерию связности. Удовлетворение критерию связности рассматривается как сохранение условия гладкости поверхности при очередном добавлении точки к расширяемому множеству точек фрагмента. Соответственно, ограничением для расширения в этом случае будет нарушение условия связности, которое можно трактовать как разрыв поверхности. Для реализации критерия связности, с учетом дискретного характера представления видимых поверхностей, можно использовать оценку расстояний от камеры до тестируемых точек. Скачкообразное изменение этого расстояния, т.е. превышение допустимой пороговой величины, можно считать разрывом поверхности.

Тогда критерий можно определить следующим образом: пусть $q(r_k, r_{k-1}) = |dr| / |d\alpha|$, где $d\alpha$ – смещение по углу между лучами до двух соседних точек p_k и p_{k-1} ; r_k – расстояние от камеры до точки p_k ; r_{k-1} – расстояние от камеры до точки p_{k-1} ; $|dr| = |r_k - r_{k-1}|$. Величина $smooth = q^2(r_{i+1}, r_i) / q^1(r_i, r_{i-1})$ будет характеризовать связность/гладкость поверхности при переходе из точки p_i в точку p_{i+1} . Если $smooth < \text{порога}$, то точка p_{i+1} принадлежит группе (объекту). В противном случае имеет место разрыв поверхности, т.е. выход на границу объекта, и точка p_{i+1} игнорируется. Проверка выполнения критерия связности проиллюстрирована на рис. 1, где точка S является затравочной точкой фрагмента поверхности $f1$; точки p_i и p_{i-1} принадлежат фрагменту $f1$ и удовлетворяют критерию связности; точка p_{i+1} принадлежит фрагменту $f2$ и не удовлетворяет критерию связности.

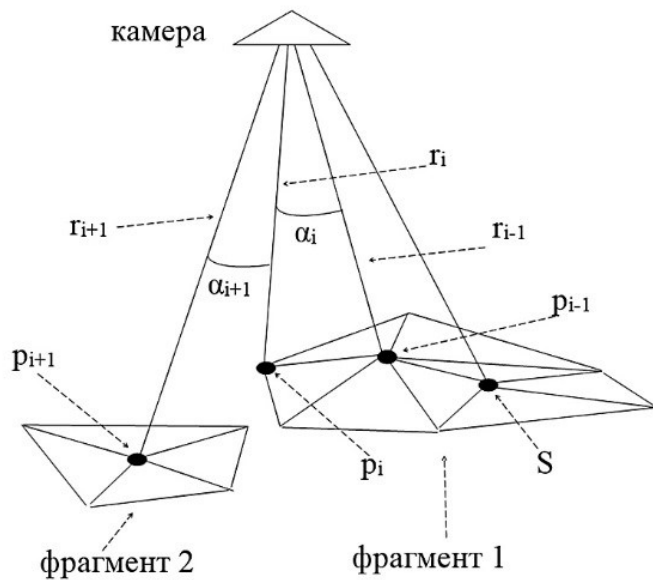


Рис. 1. Проверка критерия связности.

Реализация алгоритма аналогична реализации традиционного алгоритма затравочного типа с использованием стекового механизма.

Поместить затравочную точку в стек.

Пока стек не пуст, извлечь точку из стека.

Присвоить точке значение принадлежности к формируемой группе.

Определить из исходного 3D множества соседние к ней точки.

Для каждой соседней точки проверить:

- удовлетворяет ли критерию связности,
- принадлежит ли уже формируемой группе.

Если уже принадлежит группе или не удовлетворяет критерию, то проигнорировать.

В противном случае поместить точку в стек.

Завершить работу, когда стек пуст.

Объединение групп точек со сходным движением

Как было отмечено выше, сформированные алгоритмом связности группы точек в текущей позиции i могут принадлежать не только разным объектам, но и одному и тому же объекту. Чтобы сформировать единую точечную модель объекта, необходимо объединить все группы точек, принадлежащие данному объекту.

Такое объединение можно осуществить, основываясь на принципе схождения движений всех точек объекта, не изменяющего свою геометрическую форму при движении. Сходство движений можно оценить с помощью предлагаемого критерия «жесткости», который оперирует сопоставленными точками объекта в двух соседних позициях траектории.

Согласно критерию «жесткости» расстояние между любой парой точек, принадлежащих недеформируемому объекту, сохраняется при его движении. Применительно к задаче объединения групп точек, принадлежащих одному объекту, проверку этого критерия можно определить следующим образом. Пусть в позиции i некоторая точка pg_k принадлежит группе g_k , точка pg_l принадлежит группе g_l , а в позиции $(i - 1)$ имеются их точки – прообразы pg_k' и pg_l' (рис. 2).

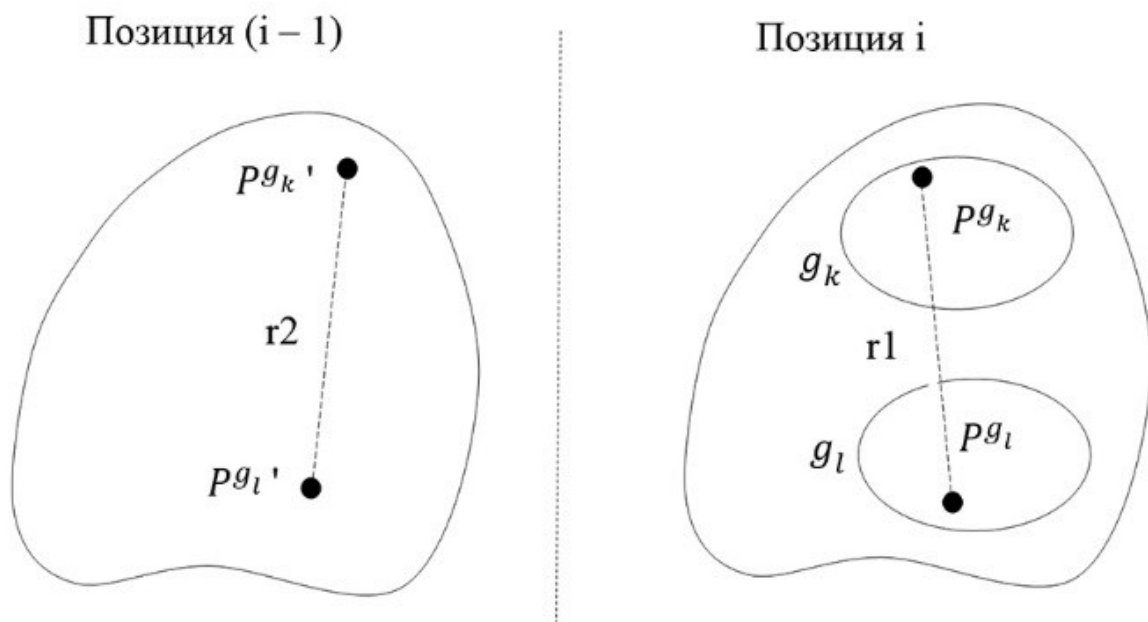


Рис. 2. Объединение группы g_l с группой g_k по критерию «жесткости».

Соответствие между точкой – прообразом в позиции $(i - 1)$ и ее образом в позиции i обеспечивается работой на каждом шаге метода визуальной одометрии, который формирует сопоставленные 3D облака. Тогда расстояния между этими точками в позиции i и в позиции $(i - 1)$:

$$r1 = |rg_k - rg_l|, \quad r2 = |rg_k - rg_l|.$$

Если $r_1 = r_2$ (с определенной пороговой погрешностью) для нескольких точек pg_i , то считаем, что обе группы принадлежат объекту и, соответственно, могут быть объединены.

Таким образом, с использованием сопоставленной пары облаков определяются группы со схожими движениями. После работы «алгоритма объединения» остаются только группы, каждая из которых полностью представляет ДО.

Результаты вычислительных экспериментов

Тестирование описанных алгоритмов осуществлялось на модельных сценах, пример одной из которых показан на рис. 3. В сцене присутствуют три ДО (подводный аппарат, батискаф и дельфин).

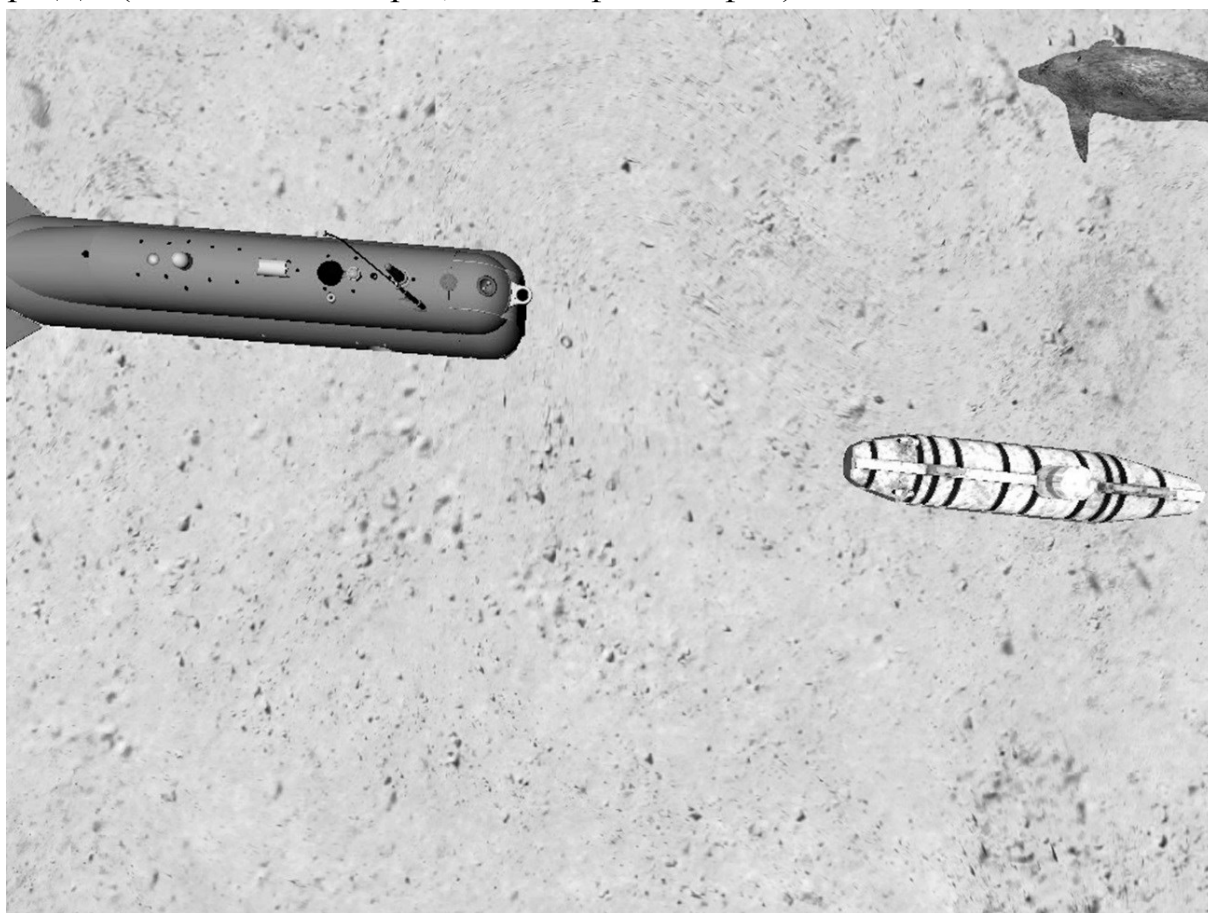


Рис. 3. Снимок подводной сцены в одной из позиций траектории АПР: в поле зрения камеры находятся три динамических объекта.

Алгоритм формирования групп точек по критерию связности сформировал 9 групп 3D точек для данного вида (рис. 4).

После работы алгоритма объединения групп точек со сходным движением сформированы три группы точек, принадлежащие трем указанным динамическим объектам, и группа точек, относящаяся к рельефу дна (рис. 5).

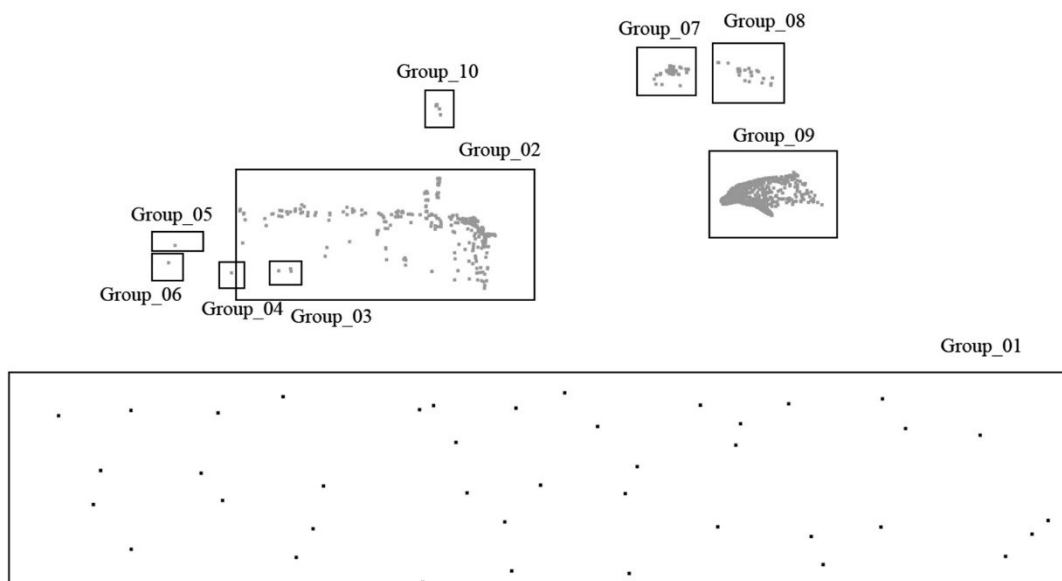


Рис. 4. Показана проекция «вид сбоку», где каждая из 9 сформированных групп 3D точек выделена прямоугольником.

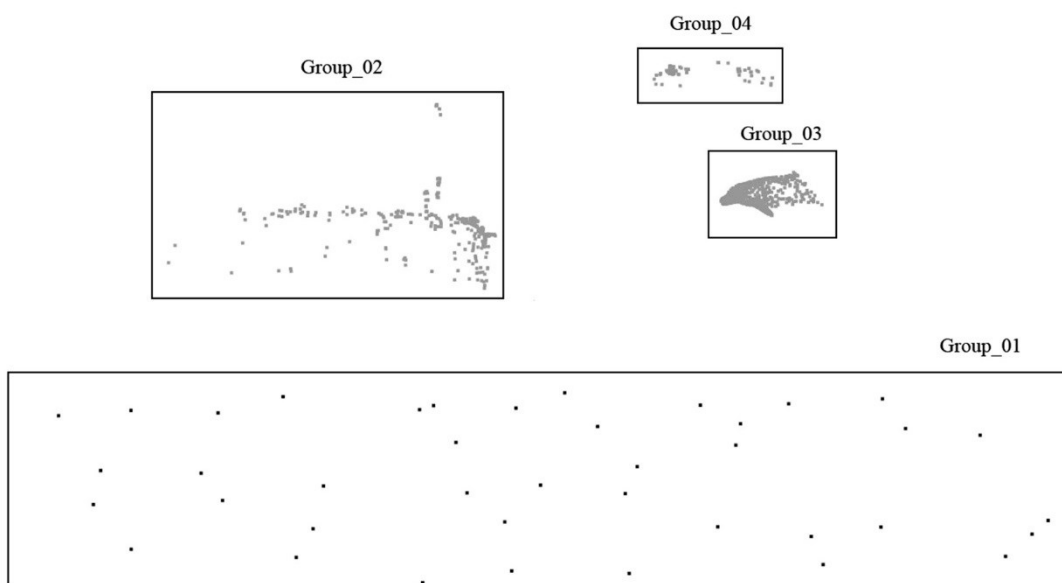


Рис. 5. Выделены три группы точек, относящихся к ДО, и группа точек, представляющих рельеф дна (после работы алгоритма объединения).

Заключение

Предложенная вычислительная схема, основанная на точечном представлении объектов, является самостоятельным этапом обработки данных в решении проблемы реконструкции ДО по видеопотоку стереоизображений. Проведенные эксперименты подтвердили правомерность предложенного подхода и эффективность реализованных алгоритмов. Получаемые с помощью описанных программ виды ДО по всей траектории движения АПР мо-

гут быть объединены на последующем этапе в единую 3D модель, которая координируется во внешней системе координат и текстурируется с помощью получаемых снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hasler N., Rosenhahn B., Thormahlen T., Wand M., Gall J., Seidel H.P.* Markerless motion capture with unsynchronized moving cameras // In: CVPR. – 2009. – P. 224-231.
2. *Ballan L., Brostow G.J., Puwein J., Pollefeys M.* Unstructured video-based rendering: Interactive exploration of casually captured videos // ACM Transactions on Graphics. Proceedings of SIGGRAPH. – 2010. – P. 134-146.
3. *Taneja A., Ballan L., Pollefeys M.* Modeling dynamic scenes recorded with freely moving cameras // Conference on Computer Vision. – 2011. – P. 613-626.
4. *Mustafa A., Kim H., Guillemaut J-Y., Hilton A.* General Dynamic Scene Reconstruction from Multiple View Video // ICCV. – 2015. – P. 900-908.
5. *Keller M., Lefloch D., Lambers M., Izadi S., Weyrich T., and Kolb A.* Real-time 3d reconstruction in dynamic scenes using point-based fusion // In Proc. of Joint 3DIM/3DPVT Conference (3DV). – 2013. – P. 1-8.
6. *Mustafa A., Kim H., Guillemaut J-Y., Hilton A.* Temporally coherent 4D reconstruction of complex dynamic scenes // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern recognition. – 2016. – P. 223-245.
7. *Lefloch D., Kluge M., Sarbolandi H., Weyrich T., Kolb A.* Comprehensive Use of Curvature For Robust And Accurate Online Surface Reconstruction // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017.
8. *Bobkov V., Kudryashov A., Mel'man S.* On the Recovery of Motion of Dynamic Objects from Stereo Images // Programming and Computer Software. – 2018. – Volume 44, Issue 3. – P. 148-158.
9. *Бобков В.А., Мельман С.В., Морозов М.А., Тарасов Г.В.* Моделирующий комплекс для подводного робота на распределенной архитектуре с использованием кластера // Информатика и системы управления. – 2017. – №4 (54). – С. 32-42.
10. *Bobkov V.A., Melman S.V., Kudryashov A.P.* Fast Computation of Local Displacement by Stereo Pairs // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2017. – №3. – P. 458-465.
11. *Bobkov V.A., Kudryashov A.P., Mel'man S.V., Shcherbatyuk A.F.* Autonomous Underwater Navigation with 3D Environment Modeling Using Stereo Images // Gyroscopy and Navigation. – 2018. – Vol. 9, No. 1. – P. 67-75.
12. *Bobkov V.A., Ronshin Y.I.* GPU Implementation of Depth Map Algorithm // The First Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications, Vladivostok, 6-9 September. – 2010. – P. 382-387.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.И. Абакумовым.

E-mail:

Бобков Валерий Александрович – bobkov@dvo.ru;

Кудряшов Алексей Павлович – kudryashovA@dvo.ru.