

УДК 621.396.933.22

**ВЫСОКОИНФОРМАТИВНЫЕ ОПТИКО-ЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
С ОБРАБОТКОЙ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ****В.Н. Легкий^{1,2}, В.П. Ющенко¹, В.А. Шумейко¹, О.В. Санков¹,
В.Г. Эдвабник^{2,1}, С.А. Буднов¹**¹Новосибирский государственный технический университет²Акционерное общество «Научно-исследовательский институт
электронных приборов»

Изложены результаты комплексной проработки облика высокоинформативных оптико-локационных систем классификации объектов с помощью активно-импульсных лазерных систем. Описан экспериментальный образец сканирующего дальномера. Представлены результаты экспериментальных исследований трехмерных изображений реальных объектов. Предложены алгоритм и программное обеспечение для обнаружения и классификации заданных наземных (надводных) объектов по геометрическим признакам в условиях сложного окружающего рельефа.

Ключевые слова: трехмерная лазерная локация, наносекундные импульсы, высокоинформативные оптико-локационные системы, классификация объектов по геометрическим признакам.

DOI: 10.17212/1727-2769-2017-3-64-73

Введение

Обнаружение и классификация заданных наземных (надводных) объектов с помощью пассивных телевизионных систем невозможны в темное время суток и при обеспечении мер маскировки. Тепловизионные системы недостаточно эффективно работают по неконтрастным тепловым изображениям объектов (авто-, бронетехника с выключенным двигателем, надводные объекты, не нагретые элементы природного рельефа и др.).

В статье рассматриваются импульсные лазерные системы для обнаружения, определения координат и классификации объектов путем многократного измерения расстояния в заданном угловом секторе и получения в результате трехмерного изображения рельефа [1, 2, 3]. Оптико-электронные системы активного типа, при соответствующей сложности и стоимости, обеспечивают достаточную обнаружительную способность в широком диапазоне свойств объектов и условий применения.

Цель исследования заключается в разработке оптико-электронных приборов и программно-аппаратных средств, определяющих облик импульсных локационных систем классификации объектов по заданным геометрическим и пространственным признакам (размеры, форма, движение с определенной скоростью и т. д.).

Техническая реализация активной локационной системы (ЛС) предполагает либо применение узконаправленного излучателя и фотоприемника в сочетании с двухкоординатным сканером (или бортовым однокоординатным сканером на подвижном носителе), либо зондирование лазерным импульсом всего заданного углового сектора и применение многоэлементного дальномерного фотоприемного устройства для получения трехмерного изображения за минимальное время. Формат дальномерной матрицы фотоприемного устройства определяется назначением

ЛС. Результатом работы ЛС является матрица расстояний до дискретных элементов лоцируемой поверхности объекта и реального рельефа. Обработка трехкоординатной матрицы измеренных расстояний и анализ формы поверхности позволяют обнаруживать, выделять и классифицировать заданный объект на фоне сложного рельефа и местных предметов (растительность, строения, помеховые образования, попадающие в диаграмму ЛС) [4].

Измеряемое расстояние составляет от десятков метров (бортовые ЛС с полупроводниковым излучателем) до сотен метров (передатчик с твердотельным или волоконным лазером) при погрешности измерения доли – единицы метров.

1. Результаты экспериментальных исследований

Разработан экспериментальный четырехканальный сканирующий высотомер с частотой импульсов 50 кГц (рис. 1), определяющий облик ЛС с электромеханическим сканером (перед оптическими системами излучателя и фотоприемника вращаются две сдвинутые по углу трехгранные зеркальные призмы). Диаметр отсека 300 мм.

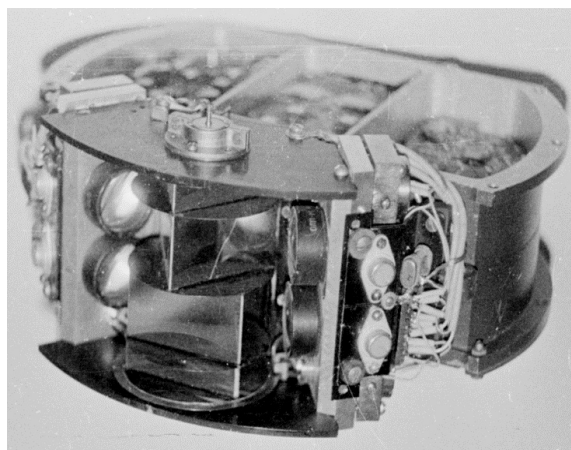


Рис. 1 – Четырехканальный сканирующий высотомер с частотой импульсов 50 кГц

Fig. 1 – Four-channel scanning height finder with PRF of 50 kHz

Для накопления данных о характерной структуре трехмерных кадров реальных объектов в полигонных условиях (без дорогостоящих летных экспериментов) использовался измерительный комплекс на основе одноканального лазерного дальномера на поворотной платформе, размещаемой на высотах от 5 м до 50 м (рис. 2).

Примеры трехмерных кадров, полученных с помощью установленной на мачте сканирующей ЛС, показаны на рис. 3 [1]. Трехмерные кадры (наборы строк, полученные при движении носителя ЛС с дискретностью строк 0,2...1,0 м) для технических объектов имеют характерные форму и размеры. Строки для кроны дерева значительно варьируются по форме.

С учетом структуры отраженных от водной поверхности оптических импульсных сигналов («изрезанность» последовательности сигналов, когда в области волновых наклонных поверхностей волн отсутствуют принимаемые импульсы) обнаружение и классификация технических надводных объектов возможны с достаточной достоверностью.



Рис. 2 – Измерительный комплекс на основе лазерного дальномера на поворотной платформе, дальность действия дальномера $R = 50$ м, погрешность $\Delta R = 0,15$ м

Fig. 2 – Turntable mounting laser range finder measurement complex, 50 m range finder with 0,15 m error

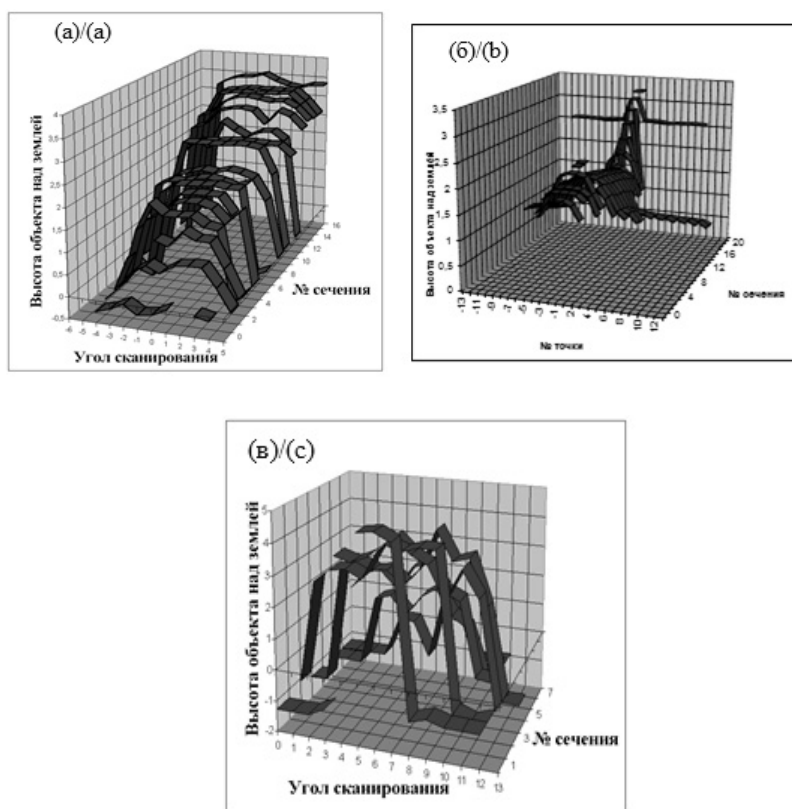


Рис. 3 – Трехмерные кадры от разных объектов:
а – автомобиль Урал-375; б – самолет МИГ-17; в – крона лиственного дерева

Fig. 3 – 3D frames from different targets:
a – truck Ural-375; b – aircraft MIG-17; c – foliage tree crown

2. Алгоритм обработки данных

С учетом геометрии заданного объекта и модели окружающего рельефа разработано специализированное программное обеспечение, генерирующее синтезированные матрицы расстояний интересующих сцен, для оценки эффективности и доработки алгоритма обнаружения и классификации. В данной работе в качестве информационных используются геометрические признаки объектов (прямолинейные края, соотношение площади высотных сечений, отношение сторон прямоугольника и др.). Задачей программного обеспечения является генерация матрицы расстояний поверхности объекта при различном ракурсе относительного движения ЛС на фоне сложного естественного рельефа, характерного для конкретного географического района.

На основе результатов измерений или синтезированной матрицы расстояний (рис. 3 и 4) составляется матрица высот сложных геометрических сцен заданного формата. В результате ее обработки формируется матрица единичных областей (рис. 5) согласно выражению:

$$X > p(\tau_i), X = 1;$$

$$X < p(\tau_i), X = 0,$$

где $p(\tau_i)$ – пороговое значение амплитуды при соответствии момента приема принятого сигнала определенному интервалу времени τ_i в каждом элементе, определяемое в конкретном такте (кадре) измерения.

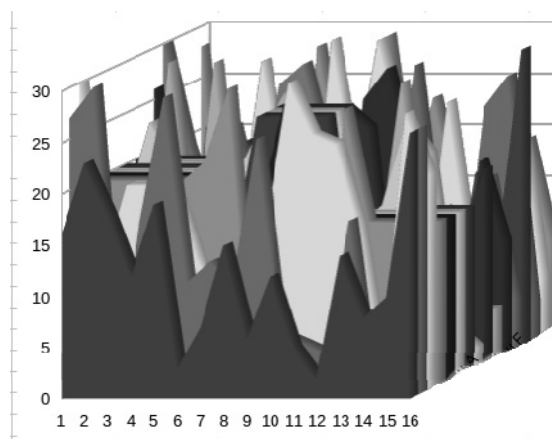


Рис. 4 – Трехмерный кадр ЛС для прямоугольных объектов, окруженных деревьями и кустарником

Fig. 4 – The location system 3D frame for a target in a forest crown

Процесс обработки полученной матрицы заключается в нахождении одинаковых по высоте областей для какой-либо плоской поверхности в сканируемом объеме пространства. Простые алгоритмы с построчным перебором двоичной матрицы с установкой маркеров на плоских участках, требуют значительного времени обработки.

Предлагаемый трехэтапный алгоритм построчного перебора двоичной матрицы позволяет сократить время обработки при некотором снижении точности определения границ равновысотных областей. Основные затраты времени приходятся

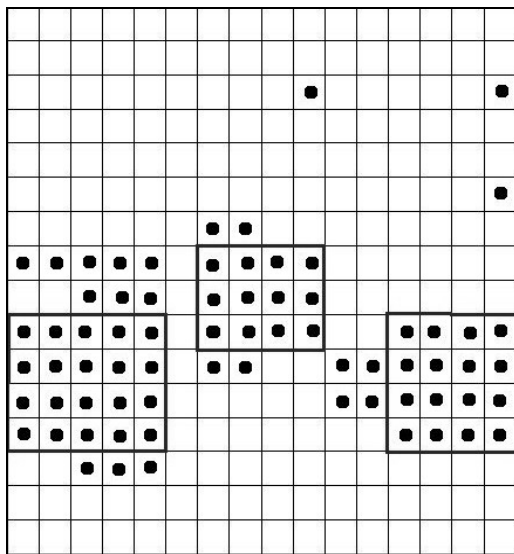


Рис. 5 – Единичная матрица для объектов техники, окруженных деревьями и кустарником, точками обозначены единичные области, прямоугольниками обозначены области выявленных заданных объектов путем оконтуривания найденных единичных областей

Fig. 5 – Unitary matrix for the target in a forest crown, dots denote unit areas, rectangles denote targets by found unit areas contouring

на перебор и исключение нулевых строк (содержащих только «нули»), а также на выделение отдельно расположенных «единиц», обусловленных малоразмерными элементами окружающего рельефа. Интерес представляют только единичные области, соответствующие плоскости в секторе сканирования. Для сокращения затрат времени предложено применить грубый перебор матрицы, при котором обработка матрицы разбивается на несколько этапов.

1. Грубый перебор матрицы – для предварительного выделения равновысотных (единичных) областей.

2. Классификация областей, например по заданным форме и площади. Это позволяет устранить неоднозначность обнаружения объекта, например, не рассматриваются сочетания единиц вертикальные 3×7 и 2×5 элементов в левой и центральной областях трехмерного кадра, а также горизонтальное сочетание 2×7 единичных элементов справа (рис. 5).

3. Классификация обнаруженного объекта (отнесение объекта к заданному классу, например, грузовой автомобиль, самолет на стоянке или катер) и принятие решения о выдаче исполнительных команд системам носителя, фиксирующим обнаружение заданного объекта.

Сначала используется параллельный перебор нескольких строк. Чем больше количество одновременно обрабатываемых строк, тем выше точность обнаружения единичных областей, при больших вычислительных ресурсах.

При обнаружении соседних единичных значений $(x-1, x+1)$ в граничных точках непрерывных плоских областей устанавливаются маркеры, а именно:

$\{x-1:=0, x:=1, x+1:=1\}$ и $\{x-1:=1, x:=1, x+1:=0\}$. На этом этапе определяют две недостающие координаты единичных областей путем перебора по координате Y от установленных ранее маркеров, как стартовых точек.

Пусть на первом этапе обнаружены три единичные области и несколько неустойчивых точек. Единичные области в районах первой и последней строк уточняются, в результате повторного перебора по координате Y , до тех пор, пока последовательность единиц не прекратится. Пороговыми значениями являются: $\{y-1:=1, y:=1, y+1:=0\}$. В центре кадра для более точного установления границ единичной области необходим двунаправленный перебор. Контурные найденных единичных областей заданной формы (выявляются по максимальному числу внутренних точек) либо координаты центров масс сложных по форме единичных областей (рис. 5) передаются для дальнейшей обработки на этапе классификации объекта [3].

3. Практическая реализация высокоинформативных оптико-локационных систем с обнаружением и классификацией объектов по геометрическим признакам

Наряду с вариантом ЛС с электромеханическим сканером (см. рис. 1) ведутся исследования по созданию малогабаритных высокоинформативных дальномерных систем.

В патенте [4] предложено практическое решение задачи создания оптико-электронной системы с повышенной достоверностью определения дальности до заданных объектов за счет классификации объектов по выбираемым признакам (движение с определенной скоростью, размеры, форма и т. д.), т. е. с применением технологии распознавания элементов трехмерного рельефа наблюдаемой сцены. В основе построения системы лежит анализ трехмерного импульсного отклика, принятого многоэлементным дальномерным фотоприемным устройством, при зондировании пространства наносекундным лазерным импульсом.

В высокоинформативном распознающем дальномере в качестве излучателя может быть применен твердотельный, волоконный или инжекционный лазер (длительность импульса 1...5 нс). В качестве фотоприемного устройства предполагалось применение 76-анодного микроканального фотоэлектронного умножителя [4]. Современные технологии позволяют реализовать N-канальное фотоприемное устройство в виде полноформатной дальномерной фотоматрицы с высоким быстродействием и необходимой чувствительностью, т. е. с достаточной пространственной разрешающей способностью [5–7].

Оптимизация энергетических параметров наносекундных дальномерных систем и их адаптация к случайным условиям работы описаны в работах [8, 9]. Адаптивное изменение длительности и мощности зондирующих импульсов при соответствующем регулировании полосы пропускания фотоприемного устройства позволяет реализовать максимальную дальность действия ЛС и достаточную достоверность обнаружения объектов в условиях аэрозольных помех.

Заключение

Предложенные решения и полученные результаты позволяют разрабатывать оптико-локационные системы нового поколения: высокоинформативные дальномеры, измерители высоты для огибания носителями рельефа, импульсные системы

обнаружения и классификации объектов, системы управления полетом и коррекции траектории летательных аппаратов. Разрабатываемое специализированное программное обеспечение дает возможность моделировать и оптимизировать алгоритмы классификации объектов по геометрическим признакам и скорости с селекцией по дальности в диапазоне десятки – сотни метров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Легкий В.Н., Топорков В.Д. Лазерные системы ближней локации: оптоэлектронные датчики / под ред. В.Н. Легкого. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 179 с.
2. Бурый Е.В., Зубцов С.А., Савельев С.Б. Использование ультракоротких импульсов в лазерных локационных системах для задач распознавания. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990. – 61 с.
3. Моделирование алгоритма измерения профиля рельефа и распознавания объектов в бортовых сканирующих импульсных лазерных дальномерах / В.Н. Легкий, В.А. Шумейко, И.Ю. Баласов и др. // Международная конференция-семинар по микро / нанотехнологиям и электронным приборам EDM'2010. Секция 5. «Оптико-электронные приборы и системы: физика, электроника, применения». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – С. 390–392.
4. Патент 2254557 Российская Федерация, МПК G 01 C 3/08. Высокоинформативный распознающий дальномер / В.Н. Легкий, Е.В. Плешакова. – № 2003131225/28; заявл. 23.10.2003; опубл. 20.06.2005, Бюл. № 17.
5. Перспективы применения лавинных фотодиодов в режиме Гейгера в системах двойного назначения / К.В. Сероштанов, А.Г. Батурин, С.А. Буднов, С.А. Андреев, В.Н. Легкий // Наука. Промышленность. Оборона: труды XVII всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 2. – С. 241–245.
6. Филачев А.М., Таубкин И.И., Тришенков М.А. Современное состояние и магистральные направления развития современной фотоэлектроники. – М.: Физматкнига, 2010. – 128 с.
7. Gated IR imaging with 128 x 128 HgCdTe electron avalanche photodiode FPA / J. Beck, M. Woodall, R. Scritchfield, M. Ohlson, L. Wood, P. Mitra, J. Robinson // Journal of Electronic Materials. – 2008. – Vol. 37, N 9. – P. 1334–1343.
8. Легкий В.Н., Галун Б.В., Санков О.В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 455 с.
9. Принципы построения помехоустойчивых миниатюрных лазерных импульсных дальномеров, высотомеров и датчиков для бортовых и транспортных систем / В.Н. Легкий, Б.В. Галун, С.А. Литвиненко, О.В. Санков, В.А. Шумейко, И.Ю. Баласов, А.О. Башмаков // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78, № 5. – С. 64–69.

HIGH-INFORMATION LASER LOCATION SYSTEMS WITH 3D IMAGE RECOGNITION

Legkiy V.N.^{1,2}, Yushchenko V.P.¹, Shumeyko V.A.¹, Sankov O.V.¹,
Edvabnik V.G.^{1,2}, Budnov S.A.¹

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

²Joint-Stock Company «Scientific Research Institute of Electronic Devices»,
Novosibirsk, Russia

Range measurement and object recognition algorithms for three-dimensional pulsed laser location systems with nanosecond probe pulses are proposed. Development prospects of recognition systems and range selection algorithms of ground (surface) targets in a complex terrain by geometric features using are shown.

Keywords: 3D laser radar, nanosecond pulses, anti-jamming ability, object recognition by geometrical features.

DOI: 10.17212/1727-2769-2017-3-64-73

REFERENCES

1. Legkiy V.N., Toporkov V.D. *Lazernye sistemy blizhnei lokatsii: optoelektronnye datchiki* [Laser systems of near-field location: optoelectronic sensors]. Ed. by V.N. Legkiy. Novosibirsk, NSTU Publ., 2002. 179 p.
2. Buryi E.V., Zubtsov S.A., Savel'ev S.B. *Ispol'zovanie ul'trakorotkikh impul'sov v lazernykh lokatsionnykh sistemakh dlya zadach raspoznavaniya* [Use of ultrashort pulses in laser location systems for recognition problems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1990. 61 p.
3. Legkiy V.N., Shumeiko V.A., Balasov I.Yu. et al. [Modeling of the algorithm for measuring the relief profile and recognition of objects in onboard scanning pulse laser range finders]. Proceedings of the International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2010. Novosibirsk, NSTU Publ., 2010, pp. 390–392. (In Russian).
4. Legkiy V.N., Pleshakova E.V. *Vysokoinformativnyi raspoznyushchii dal'nomer* [High-informative identifying range finder]. Patent RF, no. 2254557, 2005.
5. Seroshtanov K.V., Baturin A.G., Budnov S.A., Andreev S.A., Legkiy V.N. [Spects of Geiger mode avalanche photo-diodes application in twofold function systems]. *Nauka. Promyshlennost'. Oborona: trudy XVII vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Science. Industry. Defense: Proceedings of 17th Russian scientific and technical conference]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2016, vol. 2, pp. 241–245. (In Russian).
6. Filachev A.M., Taubkin I.I., Trishenkov M.A. *Sovremennoe sostoyanie i magistral'nye napravleniya razvitiya sovremennoi fotoelektroniki* [Current state and main directions of development of modern photoelectronics]. Moscow, Fizmatkniga Publ., 2010. 128 p.
7. Beck J., Woodall M., Scritchfield R., Ohlson M., Wood L., Mitra P., Robinson J. Gated IR imaging with 128 x 128 HgCdTe electron avalanche photodiode FPA. *Journal of Electronic Materials*, 2008, vol. 37, no. 9, pp. 1334–1343.
8. Legkiy V.N., Galun B.V., Sankov O.V. *Optoelektronnye elementy i ustroystva sistem spetsial'nogo naznacheniya* [Optoelectronic elements and devices of special purpose systems]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2011. 455 p.
9. Legkiy V.N., Litvinenko S.A., Balasov I.Yu., Bashmakov A.O., Sankov O.V., Galun B.V., Shumeiko V.A. Construction principles of noise-suppressing miniature laser pulse rangefinders, altimeters, and sensors for on-board and transport systems. *Journal of Optical Technology*, 2011, vol. 78, no. 5, pp. 332–335. Translated from *Opticheskii zhurnal*, 2011, vol. 78, no. 5, pp. 64–69.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Легкий Владимир Николаевич, 1957 года рождения, заведующий кафедрой автономных информационных и управляющих систем Новосибирского государственного технического университета, ведущий научный сотрудник АО «НИИЭП». Область научных интересов: системы ближней локации, оптоэлектронные системы обнаружения и распознавания объектов. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: sniios@mail.ru).

Legkiy Vladimir Nikolaevich (b. 1957) – D. Sc. (Eng.), head of the autonomous information and control systems department, leading researcher at the Research Institute of Electronic Devices, Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on near-field systems, optoelectronic systems for target detection and recognition. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: sniios@mail.ru).



Ющенко Валерий Павлович, 1944 года рождения, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: системы ближней локации в радио- и ультразвуковом диапазоне, апертурный синтез на малой дальности при монохроматическом зондировании, томография. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: jwp@aport2000.ru).

Yushchenko Valery Pavlovich (b. 1944) – professor at the department of the autonomous information and operating systems, Novosibirsk State Technical University. The field of his scientific interests includes systems of near location in the radio and ultrasonic range, aperture synthesis at a small range in monochromatic sounding, and tomography. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: jwp@aport2000.ru).



Шумейко Владимир Александрович, 1981 года рождения, ст. преп. кафедры автономных информационных и управляющих систем Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: компьютерная оптика, обработка изображений, компьютерный дизайн. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: shumeyko@corp.nstu.ru).

Shumeyko Vladimir Alexandrovich (b. 1981) – senior lecturer at the department of the autonomous information and operating systems, Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on computer optics, image processing, and computer design. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: shumeyko@corp.nstu.ru).



Санков Олег Валерьевич, 1980 года рождения, ст. преп. кафедры автономных информационных и управляющих систем Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: радиочастотные и магнитные датчики, оптоэлектронные системы ближней локации. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: sankov-o@mail.ru).

Sankov Oleg Valerievich (b. 1980) – a senior lecturer at the department of autonomous information and control systems, Novosibirsk State Technical University. His research interests include radio-frequency and magnetic sensors and optoelectronic near-field systems. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: sankov-o@mail.ru).



Эдвабник Валерий Григорьевич, 1948 года рождения, заместитель генерального директора АО «НИИЭП» по развитию, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: системы ближней локации, конструирование и испытания бортовой электронной аппаратуры. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: niiep@oaoniiep.ru).

Edvabnik Valery Grigorievich (b. 1948), D.Sc. (Econ.), PhD (Eng.), professor at the department of autonomous information and control systems, Novosibirsk State Technical University; Deputy Director General for research at the Research Institute of Electronic Devices, JSC. His research interests are currently focused on near-field systems, and design and testing of on-board electronic equipment. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: niiep@oaoniiep.ru).



Буднов Степан Александрович, 1991 года рождения, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: оптоэлектронные системы ближней локации. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: stepan_budnov@mail.ru).

Budnov Stepan Alexandrovich (b. 1991) – a postgraduate student at the department of autonomous information and control systems, Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on optoelectronic near-field systems. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: stepan_budnov@mail.ru).

*Статья поступила 31 августа 2017 г.
Received August 31, 2017*

To reference:

Legkiy V.N., Yushchenko V.P., Shumeyko V.A., Sankov O.V., Edvabnik V.G., Budnov S.A. Vysokoinformativnye optiko-lokatsionnye sistemy s obrabotkoi trekhmernykh izobrazhenii [High-information laser location systems with 3D image recognition]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2017, no. 3 (36), pp. 64–73. doi: 10.17212/1727-2769-2017-3-64-73