

Разработанные ФЭМ используются в составе программно-аппаратного комплекса, предназначенного для выполнения демонстрационных лабораторных работ по химии и биологии в учреждениях образования. Рассмотренные ФЭМ могут также найти применение в химических и аналитических лабораториях НИИ и промпредприятий при выполнении экспериментальных исследований газового состава окружающей среды.

Литература

1. Здоровцев, С. В. Информационно-измерительная система на базе цифровых функциональных электронных модулей / С. В. Здоровцев, Д. П. Кушнеров, В. А. Сушко // Приборостроение–2020 : материалы 11 международной науч.-техн. конф., 14–16 ноября 2018 г., Минск, Белорус. нац. техн. ун-т / редкол. : О.К. Гусев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 17–19.

2. Здоровцев С. В. Беспроводная контроля параметров удаленных объектов / С. В. Здоровцев, Д. П. Кушнеров, В. А. Сушко // Приборостроение-2020 : материалы 13 международной науч.-техн. конф., 18–20 ноября 2020 г., Минск, Белорус. нац. техн. ун-т / редкол. : О.К. Гусев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 49–51.

3. ME2-O2-Ф20 Oxygen Sensor [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.winsen-sensor.com>. – Дата доступа: 01.10.2021.

4. MQ135 датчик углекислого газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://portal-pk.ru>. – Дата доступа: 01.10.2021.

5. Функциональный электронный модуль контроля линейных перемещений / С.В. Здоровцев, Д.П. Кушнеров, А.В. Паршков, В.А. Сушко // Приборостроение-2017 : материалы 11 международной науч.-техн. конф., 1–3 ноября 2020 г., Минск, Белорус. нац. техн. ун-т / редкол. : О.К. Гусев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2017. – С 48–50.

УДК 621.391.63; 535.361

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С КВАЗИНУЛЕВОЙ КОНТРАСТНОСТЬЮ

Иванов В.И., Иванов Н.И.

*НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Разработана и исследована математическая модель метода повышения эффективности лазерно-локационного распознавания объектов с квазинулевым оптическим контрастом, основанного на одновременном получении информации не только об оптической, но и о рельефометрической сигнатуре объекта. Показаны преимущества метода по сравнению с обнаружением и распознаванием объектов по оптическому контрасту.

Ключевые слова: обнаружение, распознавание, объекты с малым оптическим контрастом.

METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF LAZER LOCATION RECOGNITION OF OBJECTS WITH QUASI-ZERO CONTRAST

Ivanov V., Ivanov N.

*Institute for nuclear problems of BSU
Minsk, Belarus*

Abstract. A mathematical model of a method for increasing the efficiency of lazer-location recognition of objects with quasi-zero optical contrast, based on the simultaneous receipt of information not only about the optical, but also about the reliefometric signature of the object, has been developed and investigated. The advantages of the method in comparison with the detection and recognition of objects by optical contrast are shown.

Key words: detection, recognition, object with low optical contrast.

*Адрес для переписки: Иванов В.И., ул. Голубева, д. 5, кв. 103, г. Минск 220116, Республика Беларусь
e-mail: ivanov.inp@gmail.com*

Принцип работы лазерно-локационных систем видения (ЛЛСВ) основан на подсветке объекта наблюдения лазерными импульсами с последующей пространственной селекцией и двумерной визуализацией сигнала, отраженного от цели [1].

Под оптическим контрастом объекта k_0 понимается отношение коэффициента отражения K_1 (светимости, яркости) поверхности или ее элемента к коэффициенту отражения K_b (светимости, яркости) некоторой фоновой поверхности, например, в виде [2]

$$k_0 = \frac{K_1 - K_b}{K_b}. \quad (1)$$

С возрастанием оптической плотности атмосферы (гидросферы) интенсивность лазерного излучения $P(R)$ ослабляется в соответствии с законом Бугера

$$P(R) = P_0 e^{-\sigma R}, \quad (2)$$

где P_0 – мощность излучаемого лазерного импульса в начале трассы локации; σ – коэффициент ослабления лазерного излучения; R – расстояние до объекта.

Это приводит к уменьшению (ухудшению) контраста объекта на входе ЛЛСВ в соответствии с уравнением [3]

$$k = k_0 e^{-\sigma R}, \quad (3)$$

где k_0 – коэффициент оптической контрастности (контраст) объекта; k – коэффициент контрастности (контраст) объекта на входе системы.

Селекция (отсечка) сигналов обратного рассеяния позволяет более чем на порядок увеличить дальность видения объектов [1]. Однако распознавание малококонтрастных объектов становится невозможным при $k_0 \rightarrow 0$.

Отраженное световое поле $E(S) = \sum_k E_k(S)$ в плоскости изображения ЛЛСВ представляет собой совокупность k элементарных волн (парциальных пучков), отраженных от k точек поверхности объекта S , каждый из которых характеризуется интенсивностью E_k и временем запаздывания прихода τ_k парциальных пучков сигнала на многоэлементный фотодетектор системы.

В соответствии с предложенным методом получают два двумерных распределения энергии $B_1(S)$ и $B_2(S)$ путем интегрирования отраженного светового поля $E(S, t)$ в пространственно – временных стробах τ_{s1} и τ_{s2} разной длительности [4]. Причем распределение B_1 получают путем интегрирования отраженного сигнала в стробе длительностью $\tau_{s1} \cong 2\tau_p$ на интервале $(t_1, 2\tau_p)$, где t_1 – момент начала прихода переднего фронта отраженного сигнала по отношению к моменту излучения лазерного импульса t_0 длительностью τ_p , а B_2 – интегрированием сигнала в стробе длительностью $\tau_{s2} = \tau_p$ на интервале (t_1, τ_p) .

В упрощенном виде для некоторых точек поверхности (поверхности и фона) эти значения энергий определяются уравнениями

$$B_1 = P_1 K_1 \tau_p; \quad (4)$$

$$B_2 = P_1 K_2 (\tau_p - \tau_k), \quad (5)$$

где P_1 – мощность падающего на поверхность S лазерного излучения; K_1, K_2 – коэффициенты отражения; τ_k – время запаздывания прихода отраженного сигнала от k -той точки поверхности, которое определяется уравнением

$$\tau_k = 2\xi_k/c, \quad (6)$$

где ξ_k – глубина рельефа поверхности в k -той точке относительно точки поверхности, наиболее близкой к ЛЛСВ (точка $\xi = 0$); c – скорость света.

По аналогии с (1) на основании уравнений (4) и (5) уравнение контраста для предложенного метода определяется в виде

$$k' = \frac{B_1 - B_2}{B_2} = \frac{K_1 \tau_p - K_2 (\tau_p - \tau_k)}{K_2 (\tau_p - \tau_k)} = \frac{k \tau_p + \tau_k}{\tau_p - \tau_k}, \quad (7)$$

где $k = \frac{K_1 - K_2}{K_2}$ – оптический контраст объекта.

С учетом уравнения (6) уравнение (7) примет вид

$$k' = \frac{k \tau_p c + 2\xi_k}{\tau_p c - 2\xi_k}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что при нулевом оптическом контрасте объекта, когда $K_1 \cong K_2$, т.е. при $k = 0$, контраст объекта k' на входе ЛЛСВ не равен нулю, а определяется величиной

$$k' = \frac{2\xi_k}{\tau_p c - 2\xi_k}. \quad (9)$$

На рис. 1 приведены графики зависимости k' (9), как функции возвышения объекта ξ_k над плоскостью фона при $k = 0$ для различных значений длительности лазерного импульса $\tau_p = 5, 10$ и 20 нс.

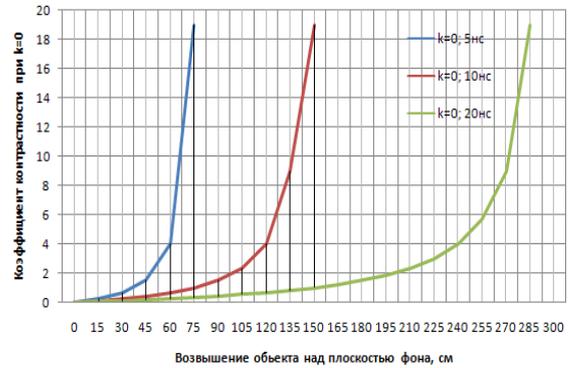


Рисунок 1 – Графики зависимости (9)

В соответствии с (9) величина контраста k' при $k = 0$ определяется глубиной рельефа поверхности ξ_k в k -той точке и может принимать весьма большие значения. Оценка данной зависимости определяется отношением контраста k' (8) к оптическому контрасту k в соответствии с уравнением

$$\Omega = \frac{k'}{k} = \frac{\tau_p c}{\tau_p c - 2\xi_k} + \frac{1}{k} \left(\frac{2\xi_k}{\tau_p c - 2\xi_k} \right). \quad (10)$$

Увеличение контраста k' на входе ЛЛСВ по сравнению с оптическим контрастом объекта пропорционально ξ_k и может быть $\gg 1$. Для объектов в виде плоскости (гипотетический случай) для которых $\xi_k = 0$, т.е. для объектов, лежащих в одной плоскости с фоновой поверхностью контраст k' определяется только оптическим контрастом объекта $k' = k$.

Повышение контраста объектов с $\xi_k > 0$ и малым оптическим контрастом позволяет примерно в Ω раз повысить детализацию объекта, обеспечить высокую обнаружительную способность и вероятность правильного распознавания малококонтрастных объектов.

Рассмотрим отношение коэффициента контрастности k' к пороговому (шумовому) контрасту ЛЛСВ k_N . Уравнение порогового контраста ЛЛСВ, по аналогии с (9), имеет вид

$$k_N = \frac{P_N}{P_S - P_N}, \quad (11)$$

где P_N – мощность порогового сигнала, который определяется чувствительностью (шумовыми характеристиками) системы; P_S – мощность сигнала.

Условием обнаружения объекта по оптическому контрасту является необходимость выполнения неравенства

$$\gamma = \frac{k}{k_N} > 1. \quad (12)$$

При $k \cong 0$ $\gamma = 0$, т.е. обнаружение объектов с квазиулевой контрастностью практически невозможно. Обнаружительная способность по предложенному методу равна

$$\gamma' = \frac{k'}{k_N} = \frac{k\tau_p c + 2\xi_k}{k_N(\tau_p c - 2\xi_k)}. \quad (13)$$

Рассмотрим отношение γ' к γ , определяемое уравнениями (13) и (12) соответственно

$$\Omega' = \frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{\tau_p c}{\tau_p c - 2\xi_k} + \frac{1}{k} \left(\frac{2\xi_k}{\tau_p c - 2\xi_k} \right). \quad (14)$$

Данное уравнение совпадает с уравнением повышения контраста (10), $\Omega = \Omega'$, т.е. повышение обнаружительной способности малоконтрастных объектов тождественно увеличению коэффициента контрастности k' на входе системы. Обнаружительная способность γ' при $k = 0$ согласно (14) определяется величиной

$$\gamma' = \frac{2\xi_k}{k_N(\tau_p c - 2\xi_k)}. \quad (15)$$

Из (15) следует, что обнаружительная способность тем выше, чем больше глубина (высота) объекта ξ_k и чем меньше пороговый контраст k_N и длительность лазерного импульса τ_p . Минимальное (пороговое) значение $\xi_{k.min}$ объектов с квазиулевым оптическим контрастом, которые еще могут быть обнаружены ЛЛСВ с пороговым контрастом k_N , определяется из (9) при условии $k' = k_N$

$$\xi_{k.min} = \frac{k_N \tau_p c}{2(1 + k_N)}. \quad (16)$$

Так, например, при $k_N \approx 0,05$ и $\tau_p = 10$ нс, $\xi_{k.min} \cong 7$ см. Уменьшение порогового контраста системы k_N и длительности лазерных импульсов τ_p позволяет еще более минимизировать пороговое значение $\xi_{k.min}$.

Литература

1. Карасик, В. Е. Локационные лазерные системы видения / В. Е. Карасик, В. М. Орлов. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 478 с.
2. Зеге, Э. П., Перенос изображений в рассеивающей среде / Э. П. Зеге, А. П. Иванов, И. Л. Кацев. – Минск : Наука и техника, 1985. – 327 с.
3. Йеперс, П. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения / П. Йеперс, Ф. Ван де Виле, М. Уайт, М. – М. : Мир, 1979. – 314 с.
4. Иванов В. И. Получение дальностных 3D изображений высокодинамичных объектов по отношению интенсивностей парциальных пучков отраженного лазерного излучения / В. И. Иванов, Н. И. Иванов // Квантовая электроника, 2018. – Т. 48, № 7. – С. 679–682.

УДК 551.501.816:551.501.793

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ЛИДАРНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СВЕРХСЛАБЫХ ОПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Иванов В.И., Иванов Н.И.

НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Разработана и исследована математическая модель корреляционного адаптивного алгоритма обнаружения оптических неоднородностей атмосферы в реальном масштабе времени. Показаны преимущества метода по сравнению с обнаружением по априорно заданным пороговым функциям.

Ключевые слова: лидар, атмосфера, гидросфера, оптическая неоднородность, турбулентность, обнаружение.

CORRELATION ALGORITHM FOR LIDAR DETECTION OF SUPERWEAK OPTICAL INHOMOGENEITY IN REAL TIME

Ivanov V., Ivanov N.

Institute for Nuclear Problems of BSU
Minsk, Belarus

Abstract. The mathematical model of adaptive correlation is developed and the algorithm for detecting optical inhomogeneities in the atmosphere in real time is investigated. The advantages of the method are shown compared with the discovery of a priori by predetermined threshold functions.