

УДК 528.8.042

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ СЛЕДОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ ПОСТРОЧНОМ ЛАЗЕРНОМ СКАНИРОВАНИИ окружающего пространства

Гусаров И. Е., Калугин А. И., Антонов Е. А.

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия

Аннотация. В работе предложен метод оценки максимальной частоты следования лазерных импульсов для достижения необходимой степени заполнения сканируемого пространства. Проведен анализ зависимости степени заполнения области сканирования от частоты следования лазерных импульсов при различных значениях коэффициента перекрытия строк кадра. Показано, что для достижения степени заполнения близкой к единице существует возможность значительного снижения требуемой частоты следования импульсов за счет увеличения времени построения строк кадра.

Ключевые слова: вероятность обнаружения, лазерное сканирование, построчная траектория сканирования, степень заполнения пространства.

ESTIMATION OF THE MAXIMUM REPETITION RATE OF LASER PULSES DURING LINE-BY-LINE LASER SCANNING OF THE SURROUNDING SPACE

Gusarov I. E., Kalugin A. I., Antonov E. A.

Udmurt federal research center of the Ural branch of the Russian academy of sciences, Izhevsk, Russia

Abstract. The paper proposes a method for estimating the maximum repetition rate of laser pulses to achieve the required degree of filling of the scanned space. The dependence of the degree of filling of the scanning area on the repetition rate of laser pulses at different values of the overlap coefficient of the frame lines is analysed. It is shown that in order to achieve a fill rate close to unity, it is possible to significantly reduce the required pulse repetition rate by increasing the time for constructing frame lines.

Keywords: probability of detection, laser scanning, line-by-line scanning trajectory, degree of space filling

Адрес для переписки: Гусаров И. Е., ул. им. Т. Барамзиной, 34, г. Ижевск 426067, Российская Федерация
e-mail: gusarovie@udman.ru

При решении задачи об обнаружении некоторого объекта или группы объектов с помощью технологии лазерного сканирования вероятность правильного обнаружения цели можно считать ключевым параметром, говорящим об эффективности системы. Данная вероятность может быть выражена следующим образом:

$$W = W_1 \cdot W_2, \quad (1)$$

где W_1 – вероятность попадания лазерного излучения на объект поиска, W_2 – вероятность выделения полезного оптического сигнала на фоне шумов [1]. Вероятность W_1 зависит от количества сформированных лазерных пятен и их взаимного расположения в пространстве. Отсюда следует, что для достижения необходимой величины W_1 , частота следования импульсов используемого лазера должна быть достаточной для получения требуемого числа лазерных пятен.

В случае, когда интересующий нас объект неподвижен, данную вероятность можно представить следующим образом:

$$W_1 = 1 - (1 - Q)^n, \quad (2)$$

где Q – степень заполнения сканируемой области пространства, n – полное число кадров, сформированных за время поиска. Под степенью заполнения сканируемой области понимается величина, выражаемая как:

$$Q = \frac{S_f}{S_0}, \quad (3)$$

где S_f – площадь сформированного кадра, S_0 – площадь сканируемой области. Под площадью сформированного кадра будем понимать площадь фигуры, образованной набором лазерных пятен, полученных в процессе сканирования области пространства.

Для простоты примем, что центр пятна движется с постоянной скоростью, т.е. пятна внутри кадра расположены равномерно. Для расчета величины S_f требуется учесть площади области перекрытия лазерных пятен, показанных на рисунке 1.

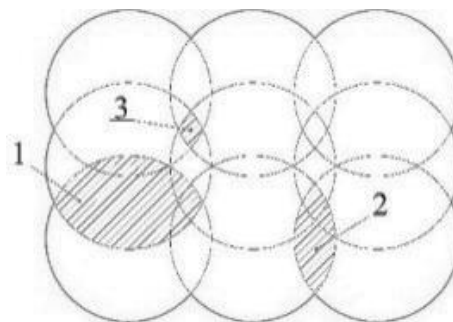


Рисунок 1 – области перекрытия пятен (1 – область перекрытия пятен в соседних строках, 2 – область перекрытия соседних пятен в строке, 3 – область перекрытия четырех пятен)

Интересующие нас области 1, 2 и 3 встречаются внутри формируемого кадра некоторое количество раз. Для расчета суммарных площадей областей 1, 2 и 3 получаем следующие уравнения:

$$S_1 = \begin{cases} 2w^2 N_y (N_x - 1) (\arccos(\eta_x) - \eta_x \sqrt{1 - \eta_x^2}), & 0 \leq \eta_x \leq 1; \\ 0, & \eta_x > 1 \end{cases}$$

$$S_2 = \begin{cases} 2w^2 N_x (N_y - 1) (\arccos(\eta_y) - \eta_{str} \sqrt{1 - \eta_{str}^2}), & 0 \leq \eta_y \leq 1; \\ 0, & \eta_{str} > 1 \end{cases}$$

$$S_3 = \begin{cases} 2w^2 (N_x + N_y - N_x N_y - 1) \left(2\eta_x \eta_{str} + \arctg \left(\sqrt{\frac{1}{\eta_{str}^2} - 1} \right) - \arctg \left(\frac{\eta_x}{\sqrt{1 - \eta_x^2}} \right) \right), & \sqrt{\eta_x^2 + \eta_{str}^2} < 1, \\ 0, & \sqrt{\eta_x^2 + \eta_{str}^2} \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

где N_x и N_y – число пятен в строке и число строк соответственно, η_x и η_{str} – коэффициент перекрытия пятен в строке и коэффициент перекрытия строк соответственно, w – радиус лазерного пятна. Параметры N_x и N_y могут быть связаны с временными характеристиками формируемого кадра:

$$N_x = t_{str} \nu; N_y = \frac{t_f}{t_{str}}, \quad (5)$$

где t_{str} и t_f – время построения строки и время построения кадра соответственно, ν – частота следования лазерных импульсов. Коэффициенты перекрытия представляют собой отношение расстояния между центрами лазерных пятен вдоль соответствующего направления к диаметру пятна. Выражения для нахождения η_x и η_{str} можно записать в следующем виде:

$$\eta_x = \frac{L\theta}{2wN_x}; \eta_{str} = \frac{L\varphi}{2wN_y}, \quad (6)$$

где L – дистанция до сканируемой области, θ и φ – угловые размеры сканируемой области соответственно. Степень заполнения области пространства запишем в следующем виде:

$$Q = \frac{S_b - (S_1 + S_2 + S_3)}{S_0}, \quad (7)$$

где S_b – суммарная площадь всех пятен, составляющих кадр.

С помощью представленных в работе выражений получена зависимость величины Q от частоты ν при различных значениях η_{str} (рисунок 2). При проведении расчета было принято, что $t_f = 1$ с; $\theta = \varphi = 15^\circ$; $L = 1000$ м; $w = 1$ м.

При увеличении частоты следования лазерных импульсов величина параметра Q возрастает до некоторого максимального значения, которое зависит от плотности расположения строк в кадре,

т.е. коэффициента перекрытия η_{str} . При этом пороговое значение Q тем меньше, чем больше η_{str} , что обусловлено ростом площади не подсвеченных участков между пятнами. При этом пороговое значение степени заполнения снижается незначительно.

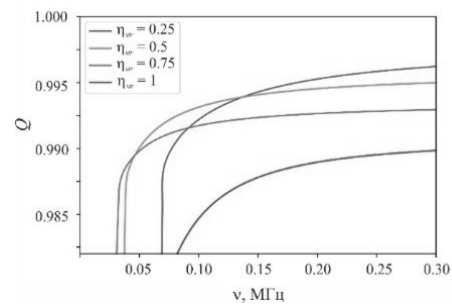


Рисунок 2 – График зависимости степени заполнения области сканирования от частоты следования лазерных импульсов

Для каждой кривой переход в область постоянных значений Q происходит после достижения некоторого значения ν . Отсюда следует, что при разработке лазерного сканирующего устройства существует возможность снижения требований к частоте импульсного лазерного источника при сохранении требуемой вероятности обнаружения объекта. Помимо этого, как видно из выражений (5) и (6) увеличение η_{str} приведет к увеличению времени построения строки и снижению требований к движущим элементам сканирующей системы.

Литература

1. Quentel, A. Analytic model for optimizing a long-range, pulsed LiDAR scanner for small object detection / A. Quentel, O. Maurice, X. Scatier // Applied Optics. – 2019. – Vol. 58, № 20. – P. 5496–5504.

УДК 535.312

УСТАНОВКА ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ И ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ВЫСОКООТРАЖАЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЛАЗЕРНОЙ И ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ

Длугунович В. А., Исаевич А. В., Крейдич А. В., Круплевич Е. А.

Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Описана метрологическая установка высокой точности для измерений коэффициентов отражения и оптических потерь высокоотражающих оптических элементов лазерной и оптоэлектронной техники. В уста-