

УДК 528.8.042

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА НА УШИРЕНИЕ ПРОЕКЦИИ ЛАЗЕРНОГО ПЯТНА

Гусаров И.Е.^{1,2}, Калугин А.И.², Соболев К.К.¹

¹ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

²УдмФИЦ УрО РАН

Ижевск, Российская Федерация

Аннотация: В работе предложено разделение параметров лазерных сканирующих систем на внутренние и внешние. К числу внутренних параметров относятся конструктивные параметры элементов сканера и сканирующего блока в целом. Под внешними параметрами понимаются характеристики режима сканирования (размер сканируемой области, время построения строки и прочее). Наиболее важным внешним параметром является качество получаемого изображения, так как искажения кадра сканирования может привести к частичной потере информации о состоянии исследуемого пространства. В работе представлены результаты вычислительного эксперимента, целью которого являлось определение характера зависимости размера проекции лазерного пятна на сканируемой плоскости при различном угле подачи излучения на грань полигонального дефлектора и различном количестве граней дефлектора.

Ключевые слова: лазерное сканирование, лазерный сканер, полигональный дефлектор, искажения кадра сканирования, уширение лазерного пятна.

INFLUENCE OF LASER SCANNER DESIGN PARAMETERS ON THE BROADENING OF LASER FOOTPRINT

Gusarov I.E.^{1,2}, Kalugin A.I.², Sobolev K.K.¹

¹Kalashnikov Izhevsk State Technical University

²Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Izhevsk, Russian Federation

Abstract. The paper proposes a division of the parameters of laser scanning systems into internal and external. Internal parameters include the design parameters of the scanner elements and the scanning unit as a whole. External parameters refer to the characteristics of the scanning mode (size of the scanned area, line construction time, etc.). The most important external parameter is the quality of the resulting image, since distortion of the scanning frame can lead to partial loss of information about the state of the space under study. The paper presents the results of a computational experiment, the purpose of which was to determine the nature of the dependence of the size of the laser footprint on the scanned plane at different incident angles on the face of the polygonal deflector and a different number of deflector faces.

Key words: laser scanning, laser scanner, polygonal deflector, scan frame distortion, broadening of laser beam.

e-mail: gusarovie@udman.ru

Введение. В настоящий момент технология лазерного сканирования становится все более востребована и уже нашла применение во многих областях деятельности человека, таких как геодезия, космическое дело, военная отрасль и других сферах. Для эффективного осуществления данной задачи используется часто призменный дефлектор, представляющий собой многогранную призму с отражающими гранями, который позволяет производить быстрое заполнение широкой области сканирования импульсами лазерного излучения по одной координате [1; 2].

При проектировании лазерных сканирующих систем можно выделить внешние и внутренние характеристики устройства. К внешним характеристикам относятся параметры режима работы сканера, под которыми понимаются время построения кадра сканирования, качество получаемого изображения, угловые размеры зондируемой области, минимальный линейный размер

обнаруживаемых объектов, максимальная дистанция зондирования и прочие. В свою очередь, к внутренним параметрам системы можно отнести диаметр лазерного пучка на выходе из передающей оптической системы, размер лазерного пятна в области сканирования, частоту следования импульсов излучения, тип сканирующих элементов системы и их характеристики и т. д.

Одним из наиболее важных внешних параметров системы является качество получаемого изображения. Различные искажения траектории сканирования вследствие инерционности оптических сканирующих элементов [3] или искажения проекции лазерного пятна в наблюдаемой области и неоднородности расположения лазерных пятен негативно влияют на качество получаемой информации о состоянии сканируемого пространства вплоть до ее частичной потери.

В работе [4] представлена зависимость величины неоднородности расположения лазерных

пятен (изменение расстояния между центрами лазерных пятен) в плоскости сканирования в зависимости от числа граней призматического дефлектора при различных углах подачи излучения на дефлектор. Из приведенных в работе зависимостей следует, что характер изменения величины неоднородности не зависит от количества граней, при этом максимальное расстояние между центрами соседних пятен ограничено угловым размером строки сканирования формируемой полигональным дефлектором с заданным количеством граней. Также стоит отметить, что при изменении угла подачи излучения на грань изменяется и положение центра строки сканирования, но угловой размер сканируемого пространства остается неизменным.

Искажение проекции лазерного пятна в наблюдаемой области. Для выполнения вычислительного эксперимента была использована компьютерная программа, моделирующая работу сканирующей системы, состоящей из полигонального дефлектора и источника лазерного излучения. Данная программа осуществляет расчет хода n -го количества лучей составляющих лазерный пучок через сканирующую систему вплоть до пересечения с плоскостью наблюдения.

При проведении вычислений было принято следующее: 1) лазерный источник вне зависимости от его габаритов и положения относительно дефлектора не ограничивает поле сканирования; 2) в случае засветки лазерным пучком двух соседних граней полигонального дефлектора, дальнейший расчет хода лучей составляющих данный пучок не проводится; данное положение используется в реальности для предотвращения возникновения паразитных отражений внутри системы [5], однако данная мера влечет за собой уменьшение теоретически возможной величины угла сканирования; 3) расходимость пучка равна нулю; 4) плоскость наблюдения расположена перпендикулярно биссектрисе угла сканирования.

Моделируемая система имеет следующие характеристики: диаметр лазерного пучка на выходе из объектива лазера 5 мм, расстояние от выходного окна лазера до центра координат $L_1 = 75$ мм, расстояние от центра сканируемой плоскости до центра координат $L_2 = 1000$ мм. Схема моделируемой системы приведена на рисунке 1. В качестве параметра характеризующего уширение проекции лазерного пятна предлагается использовать относительное уширение проекции пятна ΔS :

$$\Delta S = \frac{S}{S_0}, \quad (1)$$

где S – площадь проекции пучка в плоскости наблюдения, S_0 – площадь пучка в плоскости выходной апертуры лазера.

Результаты расчета представлены в графической форме на рисунке 2. Из рисунка видно, что при малых углах подачи излучения на грань полигонального дефлектора величина относительного

уширения проекции пятна меняется симметрично при приближении к краям строчной развертки. Однако при увеличении угла α симметрия нарушается. Так, ΔS увеличивается значительно с одной из сторон строки, в то время как в другой половине строки наблюдается уменьшение наклона кривой изменения интересующей нас величины. При этом, как было указано ранее, происходит смещение центра строки сканирования.

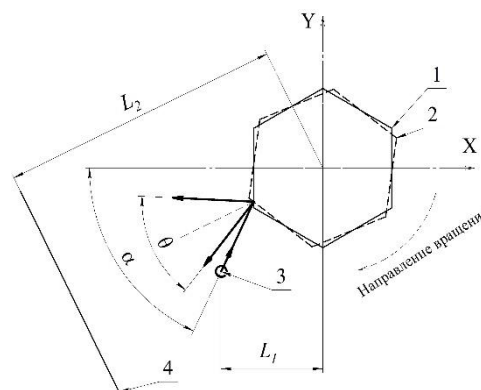


Рисунок 1 – Схема моделируемой системы: 1 и 2 – полигональный дефлектор в начальном и конечном положении соответственно; 3 – выходное окно лазера; 4 – сканируемая плоскость; α – угол подачи излучения; θ – угол сканирования

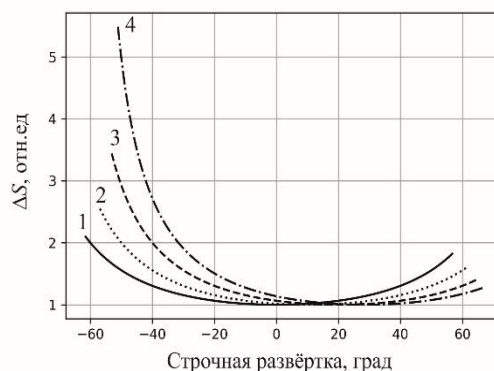


Рисунок 2 – Зависимость относительного уширения лазерного пятна от угла подачи излучения на грань дефлектора: 1 – угол подачи $\alpha = 10^\circ$; 2 – 20° ; 3 – 30° ; 4 – 40°

В результате анализа полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что эффективный угловой размер поля сканирования меньше его теоретического значения. Данный вывод основан на факте увеличения площади проекции лазерного пятна при удалении от центра строчной развертки, что вкупе с увеличением расстояния между центрами соседних пятен в крайних областях строки сканирования приводит к уменьшению плотности мощности на краях сканируемой области. Наименьшим искажением строки сканирования вследствие уширения пятна обладают системы, построенные на базе дефлектора с большим числом граней, что вызвано, во-первых, меньшим углом сканирования и как следствие

меньшей величиной ΔS при удалении от центра кадра, а во-вторых возможностью подачи излучения на грань под меньшим углом α , но недостатком таких систем является большой габаритный размер элемента сканирования [2].

Литература

1. Marshall, G.F. Handbook of Optical and Laser Scanning, Second Edition / G.F. Marshall, G.E. Stutz. – Marcel Dekker publishing, 2004. – 291 p.

2. Расчет параметров призматического дефлектора лазерного сканера / И.Е. Гусаров [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 54–61.

3. Выбор сканера для лазерной локационной системы / С.И. Артамонов [и др.] // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83, № 9. – С. 51–59.

4. Li, Y. Laser beam scanning by rotary mirrors. II. Conic-section scan patterns / Y. Li // Applied optics. – 1995. – Vol. 34, № 28. – P. 6417–6430.

5. Non-back-reflecting polygon scanner with applications in surface cleaning / H.-M. Hoang [et al.] // Opt. Express. – 2021. – Vol. 29. – P. 32939–32950.

УДК 681.7

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ВЫСОТНОГО КАЛИБРОВОЧНОГО ПУНКТА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СПУТНИКОВЫХ СЕНСОРОВ И ВАЛИДАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Ивуть П.В., Щербаков Н.Г., Гуторов А.В., Ломако А.А., Голубев Ю.В., Беляев Б.И., Сосенко В.А., Литвинович Г.С., Хомицевич А.Д.

НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной работе представлен комплекс аппаратуры, являющийся средством мониторинга состояния подстилающих поверхностей в наземных условиях, позволяющий осуществлять регистрацию спектральных отражательных характеристик объектов в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне с высокой частотой, а также с высоким пространственным и спектральным разрешением.

Ключевые слова: гиперспектральная система, датчик состояния небесной полусферы, датчик спектральной освещенности, аппаратура для спектрофотометрирования.

PROTOTYPE MODEL HIGH-ALTITUDE SYSTEM FOR CALIBRATION SATELLITE SENSORS AND VALIDATION MEASUREMENTS

Ivuts P., Shcherbakou M., Gutorov A., Lomako A., Golubev Yu., Belyaev B., Sosenko V., Litvinovich G., Khomitsevich A.

A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems of BSU
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A set of equipment is designed for remote acquisition of spectral and images of the Earth's surface in visible and near infrared range is presented. It allows capturing spectral reflectance characteristics in high frequency, spatial and spectral resolution.

Key words: hyperspectral imaging system, celestial measurement system, spectral light sensor, spectrometry system.

Адрес для переписки: Ивуть П.В., ул. Курчатова, 7, г. Минск, 220045, Республика Беларусь
e-mail: ivut.pasha@yandex.ru

Гиперспектральные системы (ГСС) достаточно широко используются при дистанционном зондировании Земли с различных носителей, а также при наземных и полетных калибровках авиакосмических систем. Разработанная аппаратура ГСС имеет свои новые элементы формирования гиперспектральных изображений в диапазоне 400–900 нм.

Изделие предназначено для решения задач полетной калибровки спутниковых сенсоров и валидации спутниковых измерений, создания спектральных баз данных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов, которые используются для диагностики и мониторинга состояния объектов на поверхности Земли.

Блок спектральной съемки, производящий регулярные измерения спектров отражения одних и тех же природных и искусственных эталонных площадок, обеспечивает получение данных для калибровки спутниковых сенсоров и валидации космического мониторинга территорий Беларуси с частотой не ниже 1 раза в сутки.

В состав блока спектральной съемки (рисунок 1) входят следующие модули: гиперспектральная система (ГСС); широкодиапазонный спектрорадиометр (ШСР); видеокамера наведения (ВН); система наведения и сканирования по азимуту и углу вертикальной плоскости (СНС); контроллер управления; датчик метеопараметров; датчик состояния небесной полусферы; датчик спектральной освещенности.

ГСС обеспечивает получение спектральной плотности энергетической яркости объектов в диапазоне 400–900 нм и состоит из входного объектива, полихроматора, приемной матрицы. Размер и количество чувствительных элементов приемной ПЗС матрицы в направлении дисперсии полихроматора определяют ширину, число и локализацию спектральных рабочих интервалов. В качестве матрицы используется детектор QHY268M Pro I [1]. Число и размер пикселей матрицы в перпендикулярном направлении определяет размер полосы спектрального разрешения и