

УДК 535,8; 538.958

О РАВНОМЕРНОСТИ ЗАСВЕТКИ РАСТРА ПРИ ЛАЗЕРНОМ СКАНИРОВАНИИ

С.А. Алексеев^а, Н.П. Белов^а, А.С. Кашников^а, Н.В. Матвеев^а, В.Т. Прокопенко^а

^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: prokopenko@mail.ifmo.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 15.02.16, принята к печати 15.04.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-3-577-580

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Алексеев С.А., Белов Н.П., Кашников А.С., Матвеев Н.В., Прокопенко В.Т. О равномерности засветки растра при лазерном сканировании // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 3. С. 577–580. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-3-577-580

Аннотация

Рассмотрена возможность создания плоского светового поля (светового растра) большого размера методом лазерного сканирования на расстоянии нескольких десятков метров с угловыми размерами $20^\circ \times 4^\circ$. Показано, что заполнение светом растра подобных размеров возможно с использованием одного лазера. Однородность освещенности светового растра достигается выбором параметров коллимирующей и сканирующей оптических систем, скоростью перемещения светового пятна по строке и кадру, частотой сменяемости кадров, коэффициентом перекрытия светового пятна. Приведены результаты исследований, позволившие получить относительно равномерную освещенность растра при лазерном сканировании и заполнение растра больших размеров светом от малоомощного лазерного источника излучения.

Ключевые слова

лазерное сканирование, коллимирующая оптика, сканирующая система, коэффициент перекрытия луча, угловая расходимость луча, освещенность, плоское световое поле

Благодарности. Исследования выполнялись на кафедре световых технологий и оптоэлектроники в рамках бюджетной НИР.

ON UNIFORMITY OF RASTER ILLUMINATION UNDER LASER SCANNING

S.A. Alekseev^a, N.P. Belov^a, A.S. Kashnikov^a, N.V. Matveev^a, V.T. Prokopenko^a

^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: prokopenko@mail.ifmo.ru

Article info

Received 15.02.16, accepted 15.04.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-3-577-580

Article in Russian

For citation: Alekseev S.A., Belov N.P., Kashnikov A.S., Matveev N.V., Prokopenko V.T. On uniformity of raster illumination under laser scanning. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 577–580. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-3-577-580

Abstract

The paper considers the possibility of a flat light field creation (light raster) of a large size by laser scanning at a distance of several tens of meters with angular sizes equal to $20^\circ \times 4^\circ$. It is shown that the filling of such size raster by light is possible with the use of a single laser. The uniformity of light raster illumination is achieved by choice of parameters for collimating and scanning optical systems, the speed of light spot movement on the line and frame, turnover frequency of frames, spot light overlap factor. We present findings that give the possibility to obtain relatively uniform raster illumination at laser scanning and the filling of large size raster with low power laser light from the radiation source.

Keywords

laser scanning, collimating optics, scanning system, beam overlap factor, beam angular divergence, illumination, flat light field

Acknowledgements

The study was performed at the Department of Light technology and optoelectronics within the budgetary research engineering.

Одним из способов создания плоского светового поля больших размеров является сканирование лазерного луча по строкам и кадру и получение, таким образом, светового растра, размеры которого могут составлять около 20° по горизонтали и около $3-4^\circ$ по вертикали. Размеры светового растра могут быть и большей величины [1–3], но коммерчески доступные сканеры не обеспечивают большие значения углов отклонения. В сканирующих системах используются, как правило, два сканера. Один из них обеспечивает развертку луча по строке (по горизонтали – ось X), а второй – по кадру (по вертикали – ось Y) [4–5]. Подобные световые поля могут использоваться в системах обеспечения безопасной посадки летательных аппаратов на малоразмерные площадки [6], а также в лазерных шоу для создания различных световых и цветовых композиций.

При создании светового поля большого формата требуется по возможности однородное его заполнение светом от маломощного источника излучения. Заполнение является однородным, если освещенность светового поля одинакова во всех его точках. Конечно, световое поле можно получить и с помощью оптической системы, но если внутри поля нужно создавать отдельные сектора с конкретным функциональным назначением, то задачу приходится решать, в основном, путем применения сканирующей лазерной системы [7]. В этом случае однородность светового поля определяется качеством и параметрами оптической системы, формирующей лазерный луч, параметрами и стабильностью работы сканеров, формирующих световой растр. Большое значение также имеют параметры электронной схемы – контроллера, вырабатывающего электрические импульсы управления угловой скоростью перемещения ротора. На роторе закрепляется зеркало, перемещающее лазерный луч в пространстве [8].

Лазерное пятно, перемещающееся по строке, имеет на краях интенсивность меньше, чем в центральной части. На границе между двумя строками при расстоянии, равном диаметру пятна, будет наблюдаться минимальная освещенность, что приводит к неравномерности засветки растра. Для устранения данного недостатка необходимо обеспечить перекрытие строк, которое можно описать двумя взаимосвязанными параметрами – коэффициентом перекрытия и коэффициентом неравномерности.

Коэффициент перекрытия $K_{пер}$ характеризует расстояние между соседними лазерными пятнами, перемещающимися по строкам. Так, при $K_{пер}=1$ расстояние между соседними лазерными строками равно диаметру луча, а при $K_{пер}=2$ расстояние между центрами соседних строк будет равно половине диаметра.

Коэффициент неравномерности [11] характеризует распределение интенсивности:

$$K_i = [(I_{max} - I_{min}) / I_{max}] \cdot 100\%,$$

где I_{max} и I_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения интенсивности между двумя точками соседних строк, лежащих в одном столбце. Зависимость коэффициента неравномерности K_i от коэффициента перекрытия $K_{пер}$ представлена на рис. 1.

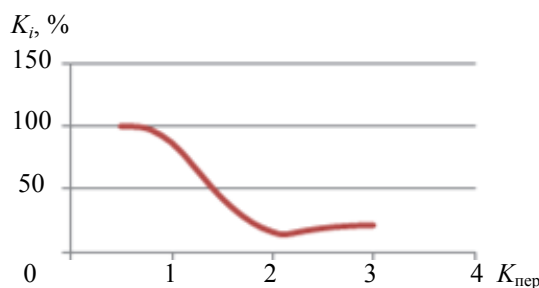


Рис. 1. Зависимость коэффициента неравномерности интенсивности растра от коэффициента перекрытия двух соседних лазерных строк [11]

Из рис. 1 видно, что при коэффициенте $K_{пер}=2$ и более коэффициент неравномерности остается практически постоянным, а относительная разность освещенностей в направлении, перпендикулярном направлению перемещения пятна, составляет не более 20%.

Для создания растра нами использовался один луч (красный) полупроводникового инжекционного лазера совместно со сканирующей системой в виде единого лазерного модуля Spectrum (производитель фирма «Kvant, Словакия») [9–10]. В исследованиях не рассматривался вопрос о предельно допустимых значениях плотности мощности лазерного источника. Эти величины определяются Санитарными нормами (СанПиН)¹, а в случае применения для целей навигации – предельно допустимыми величинами плотностей мощности для применения на аэродромах (ИКАО)². Эти вопросы решаются для каждого конкретного случая.

Нами исследовался вопрос получения растра с угловыми размерами $20^\circ \times 4^\circ$. На расстоянии 100 м от источника излучения линейный размер растра составляет 35×7 м². Отметим, что на практике при ис-

¹ Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров (Утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 31 июля 1991г. № 5804-91)

² Аэродромы. Том 1. Приложение 14. Проектирование и эксплуатация аэродромов. Изд. 5. 2009. 352 с.

пользовании сканеров для лазерных маяков в применении к летательным аппаратам пользуются угловыми размерами растра, так как дальность наблюдения варьируется от 100 м до 10 км и более. При таких размерах предпочтительней выполнять строчное сканирование вдоль большей стороны растра, а кадровую – вдоль меньшей стороны.

Излучение полупроводникового лазера (мощность 0,8 Вт, длина волны 640 нм) в эксперименте формировалось коллимирующей оптикой, входящей в лазерный модуль, в луч круглого сечения с диаметром 3,5 мм и угловой расходимостью 2 мрад (6,9'). Растр формировался системой из двух зеркал. Первое зеркало сканера обеспечивало строчную развертку, а второе – кадровую развертку. На расстоянии 100 м от источника излучения диаметр лазерного пятна должен составлять 0,2 м (площадь около 0,03 м²), в то время как размеры растра при углах развертки 20°×4° составляют 35×7 м². Тогда при $K_{пер}=1$ число строк равно 35, и в соответствии с рис. 1 неравномерность должна составлять около 80%.

Нами проведены измерения равномерности освещенности отдельных частей светового растра по следующей методике. На расстоянии двух метров от лазерного сканера устанавливался экран. Освещенность отдельных участков растра фиксировалась камерой с ПЗС-матрицей, а полученный массив данных обрабатывался в пакете Mathcad.

По строке (ось X) освещенность имеет одно и то же значение, поскольку яркость пятна при перемещении по строке не меняется, в то время как по вертикали освещенность растра меняется и определяется, в том числе, и коэффициентом перекрытия. Усредненные значения распределения освещенности по вертикальной оси Y приведены на рис. 2. Из него следует, что неоднородность освещенности по вертикали в направлении, перпендикулярном строкам растра, составляла около 10%, что, на наш взгляд, является вполне допустимой величиной.

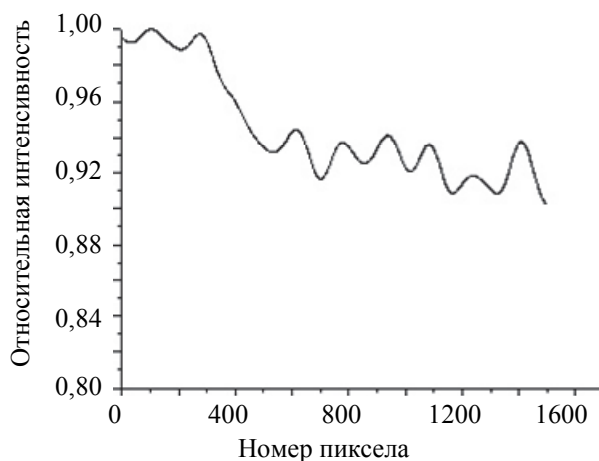


Рис. 2. Распределение освещенности в центральной части растра.
Размер пикселя 4,3 мкм

Частота сменяемости кадров растра при заполнении его от одного источника при сканировании лазерного пятна влияет на зрительное восприятие растра. Нами была выбрана частота 50 Гц, которая и определила времена сканирования луча по горизонтали и вертикали. Так, на сканер строчной развертки луча подавался электрический сигнал пилообразной формы длительностью 600 мкс, что обеспечивало горизонтальную развертку (получение одной строки) в пределах угла развертки в 20°. В нашем случае в кадре было 34 строки, следовательно, длительность воспроизведения кадра составила 600×34=20400 мкс. В этом случае частота сменяемости кадров составляла 50 Гц. Применяемые нами гальваносканеры типа VM 500 и VM 2500+ фирмы Cambridge Technology обеспечивали необходимые скорости перемещения лазерного луча по строкам и кадрам (частоты сканирования) и получение относительно равномерного освещения растра в пределах углов 20°×4°.

Чтобы убрать локальные неоднородности освещенности в направлении, перпендикулярном направлению строчной развертки, необходимо обеспечить перекрытие строк, но при этом потребуются более высокочастотные сканеры. Так, например, при $K_{пер}=1,3$ число строк в кадре составит 45, а время, затрачиваемое на одну строку, составит 450 мкс в пределах растра 20°×4°. Это время ограничено техническими возможностями исследуемого сканера. Более высокочастотный сканер позволит получить существенно более однородное световое поле растра. Полагаем, что перекрытие строк с коэффициентом $K_{пер}=1,3$ достаточно для получения однородной освещенности растра.

Таким образом, в результате выполненных исследований показана возможность получения на значительных (более 100 м для лазерных маяков) расстояниях относительно однородного заполнения растра больших размеров (20°×4°) от одного источника излучения. При этом геометрические размеры растра на расстоянии 100 м от источника излучения составляют 35×7 м². При мощности излучения лазера

в 0,8 Вт среднее значение освещенности в растре составит приблизительно $0,027 \text{ Вт/см}^2$. Качество засветки раstra определяется формирующей световое пятно коллимирующей оптикой, перекрытием световых пятен, частотными параметрами сканирующей системы.

References

1. Miryakha A., Sverdlov M., Jukov G. Semiconductor laser emitters in aircraft instrument landing systems. *Journal Photonics*, 2012, vol. 33, no. 3, pp. 32–37.
2. Korotaev V.V., Prokofev A.V., Timofeev A.N. *Optoelectronic Transducers of Linear and Angular Displacements*. St. Petersburg, NRU ITMO, 2012, 114 p. (In Russian)
3. Callison J.P., Pease J.S., Pease R.W. *Laser Projection System*. Patent US20070085936, 2006.
4. Bridgelall R., Katz J., Goren D.P., Dvorkis P., Li Y. *Laser Scanning System and Scanning Method for Reading 1-D and 2-D Barcode Symbols*. Patent US5504316, 1996.
5. Anisimov V.I., Butuzov V.V., Pasjuk V.P. *Aircraft Laser System for Landing on Low-Sized Strips*. Patent RU2494018, 2013.
6. Olikhov I.M., Golchenko A.N. Electron-beam-pumped semiconductor laser emitters in glideslope aircraft landing system. *Journal Photonics*, 2013, no. 4 (40), pp. 76–93.
7. Keane J. *Full State Feedback Control of Galvanometr Scanning System*. Master of engineering dissertation. Dublin City University, 1994, 119 p.
8. Widlok M. *Advanced Methods of Galvoskanner Position Control with Integrated Power Module*. PhD thesis. Cracov, University of Science and Technology, 2007, 106 p.
9. Kovrov A. Sharing the ground-based laser scanners and digital cameras. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2006, vol. 1, no. 2, pp. 139–145. (In Russian)
10. Tarasov I.S. High-power semiconductor separate-confinement double heterostructure lasers. *Quantum Electronics*, 2010, vol. 40, no. 8, pp. 661–681. doi: 10.1070/QE2010v040n08ABEH014375
11. *Handbook of Optical and Laser Scanning* / Ed. G.F. Marshall. NY: Marcell Dekker Inc., 2004. 778 p.

- Алексеев Сергей Андреевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, alekseev@grv.ifmo.ru
- Белов Николай Павлович** – старший инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, belov@grv.ifmo.ru
- Кашников Александр Сергеевич** – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Alex 44 rus @ mail.ru
- Матвеев Николай Вадимович** – кандидат технических наук, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Matveev nv @ mail.ru
- Прокопенко Виктор Трофимович** – доктор технических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, prokopenko@mail.ifmo.ru
- Sergey A. Alekseev** – PhD, Associate professor, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, alekseev@grv.ifmo.ru
- Nikolay P. Belov** – senior engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, belov@grv.ifmo.ru
- Alexander S. Kashnikov** – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Alex 44 rus @ mail.ru
- Nikolay V. Matveev** – PhD, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Matveevnv @ mail.ru
- Viktor T. Prokopenko** – D.Sc., Professor, Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, prokopenko@mail.ifmo.ru