

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕЧЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПЯТНА ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Губернаторов В.А.,

Государственный экономико-технологический университет транспорта, г. Киев

В статье рассмотрены теоретические основы решения проблемы внедрения оптико-электронных систем с автоматической корректировкой искажений формируемого светового излучения. Проанализированы причины искажений, проведено моделирование такой системы, результаты которого представлены в изложенных материалах.

Ключевые слова: пятно излучения, метод сечений, коэффициент формы поверхности, изображение пятна лазерного пучка.

Введение. В настоящее время в полиграфии, лазерной обработке материалов, локации, оптической связи и других областях техники ощущается необходимость более широкого внедрения оптико-электронных систем с автоматической корректировкой искажений формируемого светового излучения. Причинами этих искажений могут быть дестабилизирующее воздействие механических или климатических факторов, нестабильность характеристик источника излучения, возмущения в оптическом тракте, разъюстировка оптических элементов и т.п. Обеспечение приемлемого качества коррекции требует непрерывного динамического контроля характеристик светового излучения, например пространственного распределения его интенсивности, в том числе оценки отклонения указанного распределения от исходного или эталонного распределения.

Целью данной работы является разработка метода выборки и последующей обработки формы поверхности пятна излучения в реальном времени.

Традиционный путь решения данной задачи включает формирование изображения пятна излучения $B(x, y)$ на светочувствительной поверхности фотоприемника с последующим преобразованием в сигнал $U(x, y)$, амплитуда которого в каждой точке разложения с координатами (x, y) соответствует интенсивности в $B(x, y)$, т.е. $U(x, y) \leftrightarrow B(x, y)$. Далее сигнал $U(x, y)$ сравнивают с эталонным сигналом $W(x, y)$ для всех точек разложения сигналов. Сигналы $U(x, y)$ и $W(x, y)$ представляют собой некоторые поверхности, которые могут отличаться типом, коэффициентом относительного масштаба, вектором относительной координатной привязки и углами относительных поворотов в трехмерном пространстве. Поэтому сравнение этих поверхностей должно производиться с учетом всех возможных ситуаций, что требует огромного объема вычислений и затруднительно для осуществления в реальном времени.

В практически важных случаях требуется сравнение поверхностей $U(x, y)$ и $W(x, y)$ может быть реализовано с помощью излагаемого ниже нового метода сечений. Этот метод включает следующие операции:

1) нахождение максимальных амплитуд сигналов $U(x, y)$ и $W(x, y)$ (рис. 1):

$$U_{\max} = \max U(x, y) = h_u ,$$

$$W_{\max} = \max W(x, y) = h_w ;$$

2) нахождение значений площадей $S_{0,75u}$ и $S_{0,5u}$ сечений на уровнях $0,75 h_u$ и $0,5 h_u$ для сигнала $U(x, y)$ соответственно, $S_{0,75w}$ и $S_{0,5w}$ на уровнях $0,75 h_w$ и $0,5 h_w$ для сигнала $W(x, y)$ соответственно;

3) расчет приближенных значений коэффициентов формы $\tilde{r}_{v,u}$ и $\tilde{r}_{v,w}$ для сигналов $U(x, y)$ и $W(x, y)$ соответственно;

$$r_{v,u} \approx \tilde{r}_{v,u} = r_{s,u} = S_{0,75u} / S_{0,5u} , \quad (1)$$

$$r_{v,w} \approx \tilde{r}_{v,w} = r_{s,w} = S_{0,75w} / S_{0,5w} , \quad (2)$$

где \sim – знак приближенного значения,

$$r_{v,u} = V_{0,5u} / h_u S_{0,5u} , \quad 0 < r_{v,u} \leq 1 \quad (3)$$

$$r_{v,w} = V_{0,5w} / h_w S_{0,5w} , \quad 0 < r_{v,w} \leq 1, \quad (4)$$

где $V_{0,5u}$ и $V_{0,5w}$ – суммарное значение амплитуд сигналов $U(x, y)$ и $W(x, y)$, меньших уровней $0,5 h_u$ и $0,5 h_w$ соответственно.

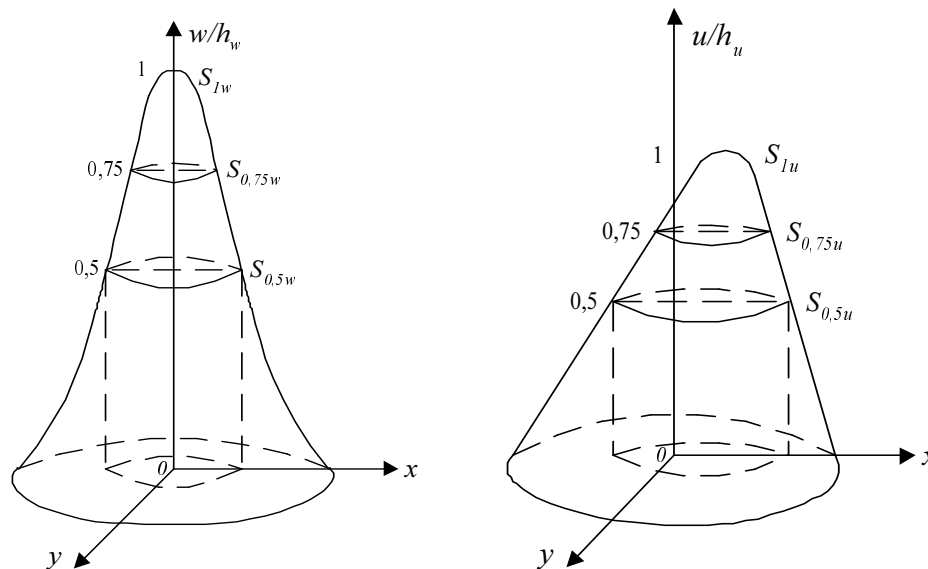


Рисунок 1 – Сигналы эталонного (а) и текущего (б) изображений пятна излучения

Покажем справедливость $r_v \approx r_s$ на примере текущего сигнала $U(x, y)$ следующим образом.

Объем $V_{0,5}$ фигуры выше сечения поверхности $U(x, y)$ по уровню $0,5 h_u$ может быть найден с помощью одной из известных формул приближенного

вычисления интегралов для равноотстоящих узловых точек, например, формулы Симпсона [1]:

$$V_{0,5u} \approx h_u [S(U_{\max}) + 4S_{0,75u} + S_{0,5u}] / 12 \approx h_u S_{0,5u} (4r_{s,u} + 1) / 12. \quad (5)$$

Так как $S(U_{\max}) = S_{1u}$ – площадь сечения поверхности на уровне максимальной амплитуды, при этом чаще всего $S_{1u} \approx 0$.

4) сравнение коэффициентов формы $r_{s,u}$ и $r_{s,w}$ (вместо поэлементного сравнения поверхностей).

Используя (5), легко получить

$$V_{0,5u} = V_{0,5u} + h_u S_{0,5u} / 2 \approx h_u S_{0,5u} (4r_{s,u} + 7) / 12, \quad (6)$$

откуда следует

$$\tilde{r}_{v,u} \approx (4r_{s,u} + 7) / 12. \quad (7)$$

Линейная зависимость коэффициентов \tilde{r}_v и r_s позволяет использовать коэффициент r_s как характеристику формы соответствующей поверхности.

Возможности классификации типов поверхностей посредством коэффициента r_s отражены в таблице. Разные значения коэффициента r_s соответствуют разным типам поверхностей приведенных в ней примеров фигур.

Важным достоинством коэффициента r_s для некоторых типов поверхностей является его независимость от коэффициента масштаба, сдвига и ориентации соответствующей поверхности. Кроме того, вычисление коэффициента r_s , так как число разрядов кода значения $S_{0,5}$ всегда существенно меньше числа разрядов кода значения $V_{0,5}$.

Коэффициент $4r_s$ характеризует обобщенную выпуклость поверхности: при $4r_s > 1$ – поверхность выпукла, при $4r_s < 1$ – поверхность плоская в обобщенном смысле, при $4r_s = 1$ – поверхность линейна в обобщенном смысле.

Важно отметить, что поверхность можно охарактеризовать площадью эффективного сечения S_g :

$$S_g = 2(V_{0,5} - S_{0,5} \cdot h \cdot 0,5) / h \approx 2(S_{0,5} \tilde{r}_v h - S_{0,5} \cdot h \cdot 0,5) / h = 2S_{0,5} (\tilde{r}_v - 0,5), \quad (8)$$

Метод сечений [2] можно использовать для выборки сигналов лазерных пучков, а в качестве параметра выборки использовать коэффициент формы, при этом данная методика будет использоваться для нахождения центров лазерных пучков.

$$S_g \approx \tilde{S}_g = \begin{cases} (4S_{0,75} + S_{0,5}) / 6 & \text{при } S_1 \approx 0, \\ (S_1 + 4S_{0,75} + S_{0,5}) / 6 & \text{при } S_1 \neq 0, \end{cases} \quad (9)$$

где S_1 – площадь сечения сигнала на его максимальном уровне.

Этапы алгоритма контроля формы изображения пятна лазерного пучка

Алгоритм заключается в следующем:

1. На изображении находится точка с максимальной яркостью.
2. От найденного значения яркости на изображении выбираются 5 значений яркости, каждое на единицу меньше от предыдущего. Крайние точки каждого из 6 диапазонов образуют краевые линии. В результате получается 6 краевых линий (рис. 2).
- 3.

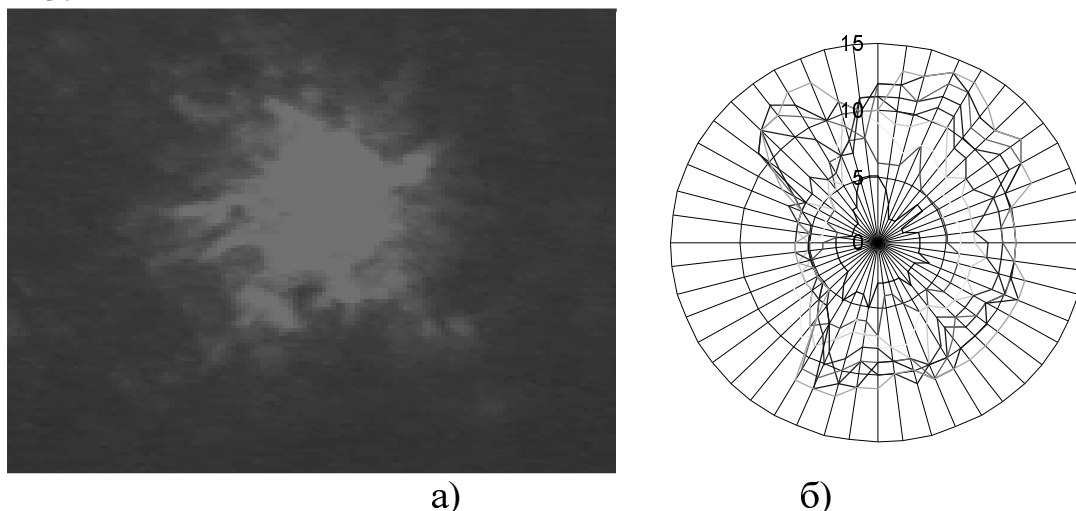


Рисунок 2 – Форма изображения пятна лазерного пучка:
а) изображение пятна, б) краевые линии

4. Для каждого краевого контура определяется предварительный центр, после чего вычисляется усредненный центр для координат X и Y .

Координаты (x, y) энергетического центра двумерного сигнала с удельной нелинейной плотностью $w(f(x, y))$, соответствующей данному значению $f(x, y)$, выражаются в следующем виде:

$$x = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot x, \quad y = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot y, \quad M = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)).$$

5. Полученные краевые линии разбиваются на 4 сегмента. В качестве центральной точки используются координаты предварительного центра (усредненного центра).

6. Определяются ”хорошие” и ”плохие” изображения по факту попадания в рассчитанный туннель вычисленного коэффициента формы. Если коэффициент формы текущего изображения попадает в туннель, то последнее считается ”хорошим”, в противном случае – ”плохим”.

Границы туннеля вычисляются в обучаемой выборке изображений путем последовательного выбора изображений и соответствующих коэффициентов формы с минимальным разбросом координат предварительных центров.

7. Вычисляются координаты энергетических центров только для «хороших» изображений.

При исследовании трасы лазерных пучков проводятся следующие действия:

Из 10% изображений пятен лазерных пучков формируется начальная выборка. Во время ее формирования методом перебора определяются границы туннеля. Далее проводится выборка изображений пятен лазерных пучков и определяется группа "хороших" изображений.

Исследовано 15 трас лазерных пучков [3] и получены следующие результаты (показано для 2-х трас):

1. Границы туннеля $\underline{a} := 0.777$ $\underline{b} := 0.78$

Значение разницы между максимальным и минимальным значением координат 1,147.

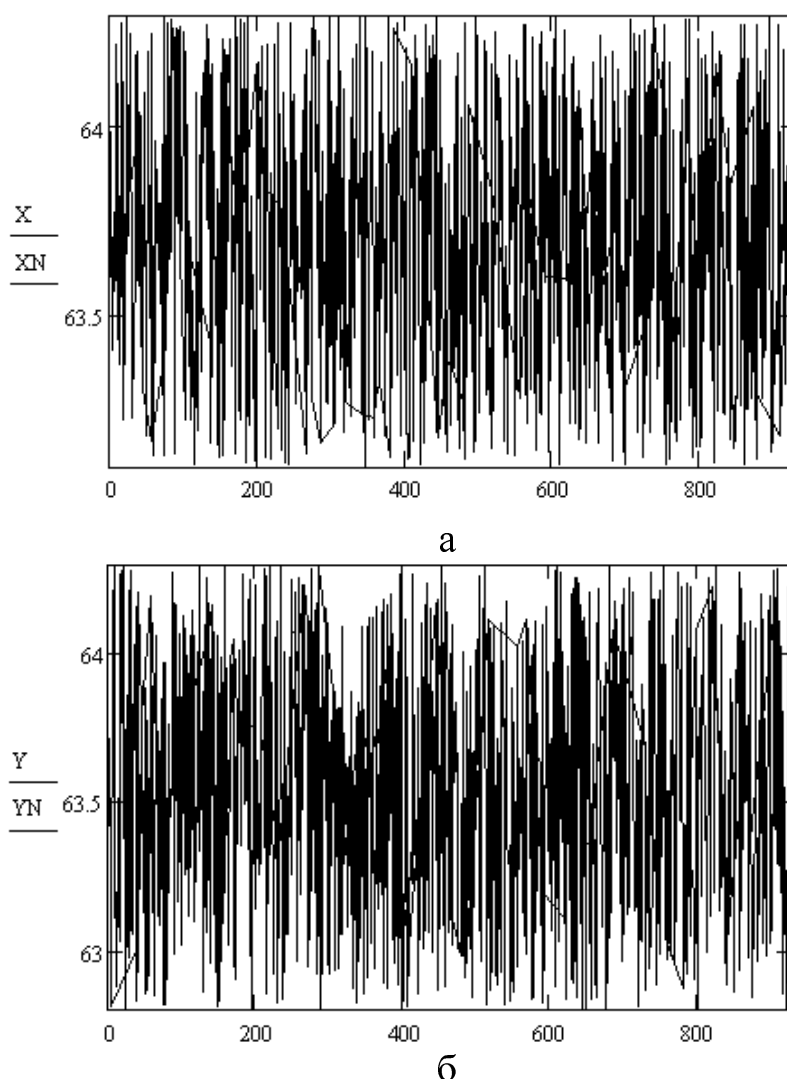


Рисунок 3 – График распределения координат центров лазерных пучков (а – значение X, б – значение Y), где X, Y координаты всей трасы лазерных пучков соответственно, XN, YN значение координат центров пятен после выборки

2. Границы туннеля $\underline{a} := 0.751$ $\underline{b} := 0.757$

Значение разницы между максимальным и минимальным значением координат 2.18.

Выводы. Эксперименты показывают, что для изображений пятен лазерных пучков в результате действия разнообразных дестабилизирующих факторов невозможно точно измерять координаты их энергетических центров, однако точность можно существенно повысить, используя вычисление коэффициента формы изображений с последующей их классификацией на “хорошие” и “плохие”. Сравнительный анализ показывает, что предложенные методы позволяют измерять координаты центра лазерных изображений с точностью определения точки привязки не менее чем 1-2 элемента разложения, что по точности превышает известные, например, на основе определения центра масс с помощью моментных признаков, в среднем в 1,5 раза.

В соответствии с изложенным методом сечений, сравнение поверхностей сводится к сравнению их коэффициентов формы и не требует поэлементного сравнения с учетом всех случаев отличия их типов, коэффициента масштаба, относительного сдвига и поворота в пространстве. Важно отметить, что равенство коэффициентов формы поверхностей, в общем случае, позволяет отнести их к одному и тому же обобщенному типу поверхности или аппроксимировать этим типом поверхности.

Очевидно, что метод сечений может быть легко распространен на случай увеличения числа равноотстоящих сечений поверхности или изменения значений уровней сечений, изменения весовых коэффициентов площадей сечений.

При этом в качестве порождающей основы также целесообразно использовать подходящую формулу приближенного вычисления интегралов [1].

Рассмотренный метод сечений перспективен также для применения в задачах классификации и архивации изображений в реальном времени. Важным достоинством данного метода является простота осуществления как программными, так и аппаратными средствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., испр. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986. – 544 с.
2. Кутаев Ю.Ф., Сидоров А.С. Метод фильтрации геометрического шума бинарного изображения / Сб. научных трудов „Информационная и микропроцессорная техника в полиграфии”. – М.: Изд-во МПИ „Мир книги”, 1992. – С. 57-73.
3. Laser Control of Near Earth Space and Possibilities for Removal of Space Debris from Orbit with Explosive Photo-Dissociation Lasers with Phase Conjugation / Basov N.G., Zemskov E.M., Kutaev Y.F. et. al. // Proc. GCL/HPL 98. SPIE Symposium. – St-Petersburg, Russia, 1998.

4. Система координатной привязки для нестационарных сигналов / Тимченко Л.И., Кутаев Ю.Ф., Герций А.А. и др. // Известия РАН, сер. физическая. – 2001. – № 6. – С. 886-890.

5. Leonid I. Timchenko, Yuriy F. Kutaev Method for Training of a Parallel-Hierarchical Network, Based on Population Coding for Processing of Extended Laser Paths Images // Proceedings of SPIE, Volume 4790, 2002. – P. 465-479.

Губернаторов В.А. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПЕРЕТИНІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ФОРМИ ПОВЕРХНІ ПЛЯМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

У статті розглянуто теоретичні основи вирішення проблеми впровадження оптико-електронних систем з автоматичним коригуванням викривлень формованого світлового випромінювання. Проаналізовано причини викривлень, проведено моделювання такої системи, результати якого представлено у викладених матеріалах.

Ключові слова: пляма випромінювання, метод перетинів, коефіцієнт форми поверхні, зображення плями лазерного пучка.

Gubernatorov V.A. APPLICATION OF THE METHOD OF SECTIONS TO CONTROL THE FORM OF THE SURFACE OF THE SPOT OF RADIATION IN REAL TIME

The article deals with theoretical grounds of solving a problem of implementing optical and electronic systems with automatic distortion adjustment of light radiation being formed. The distortion reasons have been analyzed, such a system has been modeled, and these results are represented in the given material.

Key words: spot of radiation, method of sections, form factor of surface, imaging of laser beam spot.