

Алгоритм выбора элементов фотоприемника при определении направления на источник оптического излучения по анализу распределения интенсивности в плоскости наблюдения

В.В. Капитанов, email: kvv256@rambler.ru
А.А. Козирацкий, К.Р. Филоненко

ВУНЦ ВВС РФ “Военно-воздушная академия им. Профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж)”

***Аннотация.** В данной работе разработан алгоритм выбора элементов фотоприемника регистрирующих оптическое излучение с равными интенсивностями, позволяющий определять угол азимута и места на источник излучения.*

***Ключевые слова:** Введение источник оптического излучения, элемент фотоприемника, интенсивность излучения.*

Введение

В работе [1] с использованием оптической схемы Кеплера показан новый способ определения угла азимута и места на источник оптического излучения, основывающийся на анализе распределения интенсивности регистрируемого излучения матричным фотоприемником. С применением методов имитационного моделирования в [2] проводились исследования по оценке точности определения угловых координат в зависимости от размеров элементов матричного фотоприемника и параметров оптической фокусирующей системы. В работе [3] использовался метод корреляционной обработки изображений, позволяющий путем сравнения эталонного и регистрируемого распределения интенсивности определить угол азимута на источник оптического излучения. При этом выявился существенный недостаток, связанный с применением сложного алгоритма вычисления больших массивов данных, что приводит к существенному росту времени проведения вычислительных операций. В работе [4] получены статистические характеристики ошибок угла азимута и места на источник оптического излучения в зависимости от отклонения от требуемого значения расстояния между соседними элементами матричного фотоприемника. Результаты исследования показали, что ошибки в определении направления на источник оптического излучения уменьшаются с увеличением отклонения от

требуемого значения расстояния между соседними элементами. Таким образом, назрела необходимость разработки алгоритма выбора элементов фотоприемника, обеспечивающего требуемую точность определения угловых координат на источник оптического излучения.

Целью настоящей статьи является разработка алгоритма выбора элементов фотоприемника при определении направления на источник оптического излучения по анализу распределения интенсивности регистрируемого изображения.

1. Алгоритм выбора элементов фотоприемника при определении направления на источник оптического излучения по анализу распределения интенсивности в плоскости наблюдения

На рисунке 1 представлена оптическая схема прохождения лучей через линзовую фокусирующую систему, особенностью которой является применение окуляра распараллеливающего лучи и регистрирующего матричного фотоприемника.

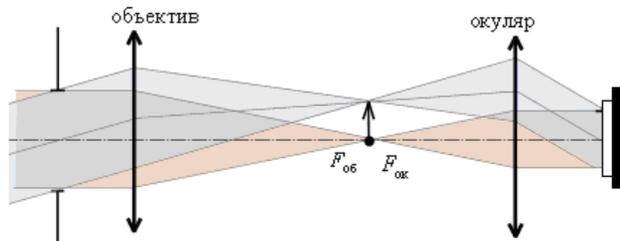


Рис. 1. Схема прохождения лучей через линзовую фокусирующую систему

Ограничимся случаем регистрации одномодового источника лазерного излучения, которое в плоскости приема имеет гауссовское распределение интенсивности. Тогда, в зависимости от расположения источника оптического излучения относительно главной оптической оси системы фотоприемник будет регистрировать изображение распределений линий равных интенсивностей оптического излучения в виде набора окружностей или эллипсов, как изображено на рисунке 2. Далее, как показано в работе [1], выделяют шесть элементов фотоприемника с равными интенсивностями, по которым определяют угловые координаты на источник оптического излучения. Точность определения направления на источник излучения существенно зависит от выбора этих элементов, расположение которых должно характеризовать кривизну линии второго порядка эллипса. Проведенные

расчеты в работе [5] показывают, что с увеличением расстояния между выбранными элементами растет точность определения угловых координат.

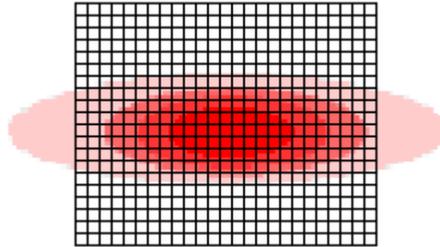


Рис. 2. Распределение интенсивности оптического излучения в плоскости матричного фотоприемника

Распределение регистрируемой фотоприемником интенсивности оптического излучения можно представить в виде двумерного массива $A(N, M)$. Основной алгоритм выбора шести элементов двумерного массива разобьем на несколько более простых алгоритмов, которые существенно упрощают вычисления. На первом этапе необходимо осуществить преобразование двумерной матрицы $A(N, M)$ в одномерный массив $X(N, M)$, для этого последовательно переписывались строки двумерного массива в одномерный, как показано на рисунке 3. Вычисление значения индекса массива X осуществлялось по формуле $L = (i - 1)M + j$, а запись элемента $X(L) = A(i, j)$, где i, j - вспомогательные данные.

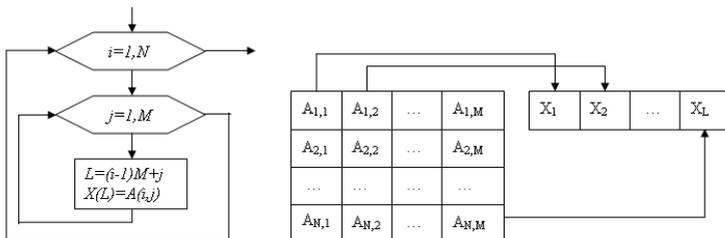


Рис. 3. Алгоритм преобразования двумерной матрицы в одномерный массив

На втором этапе путем пошагового сравнение каждого элемента массива формировались одномерные массивы заполненные номерами позиций элементов с равными значениями интенсивности регистрируемого изображения оптического излучения. Далее осуществлялось сравнение по размеру полученных матриц, и определялся массив с наибольшим количеством элементов. Алгоритм вычислений и соответствующие пояснения, представлены на рисунке 4, где применяются следующие обозначения: i – номера элементов одномерного массива; $rovn_znach$ – значения интенсивности элемента массива, используется для определения позиций элементов с равными интенсивностями; l, k – количество элементов в сформированных массивах; $M[k]$ – промежуточный массив; $R[k]$ – массив с максимальным количеством элементов, заполненный номерами позиций элементов с равными значениями интенсивностей.

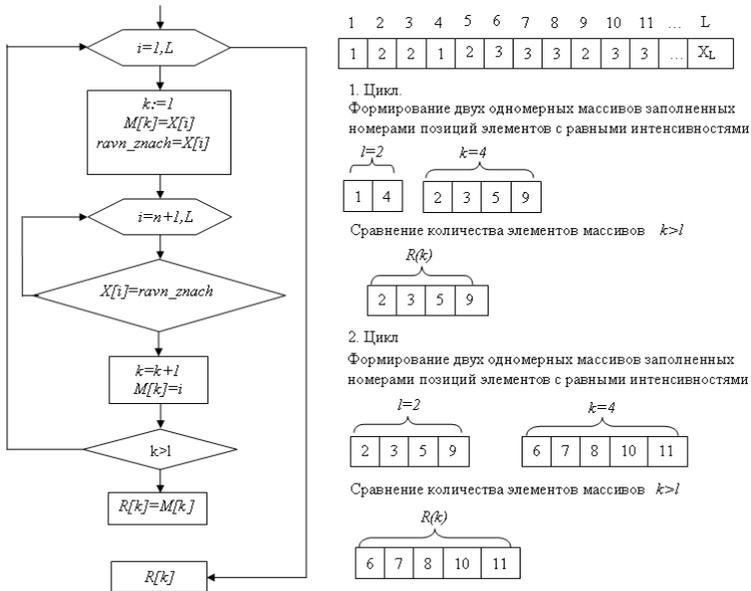


Рис. 4. Алгоритм получения одномерного массива с наибольшим количеством элементов с одинаковыми интенсивностями

На третьем этапе выбирались элементы массива находящиеся на максимальном расстоянии друг от друга. Значения выбранных шести элементов соответствовали порядковому номеру первоначальной двумерной матрицы. Алгоритм вычислений и соответствующие пояснения представлены на рисунке 5, где введены следующие обозначения: l – количество элементов массива заполненного номерами позиций элементов с равными значениями интенсивности; i – номера элементов одномерного массива; k – шаг формирования массива с шестью элементами; n – номер выбранного элемента; $Z[i]$ – массив с номерами шести элементов максимально равномерно удаленных друг от друга.

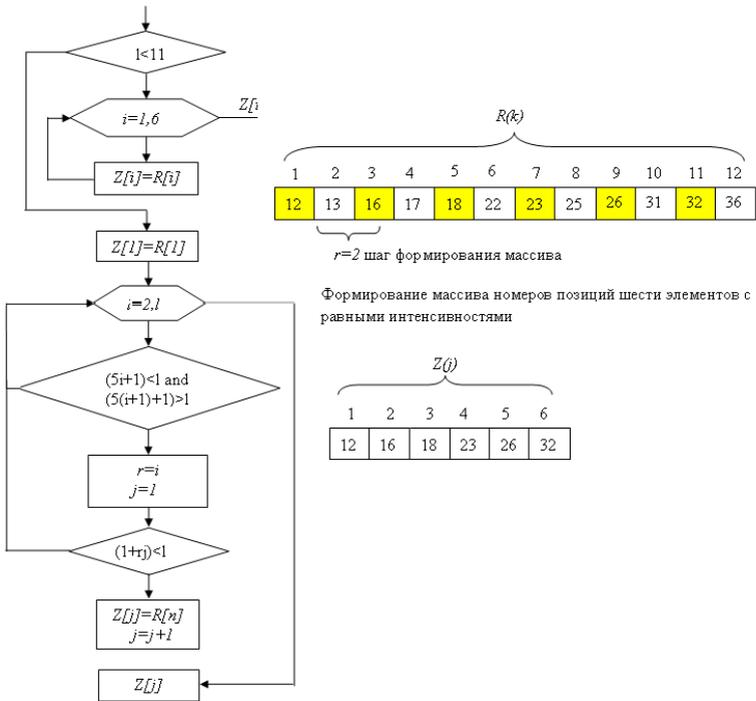


Рис. 5. Алгоритм получения одномерного массива с шестью элементами максимально равномерно удаленных друг от друга

Далее по значению номеров элементов сформированного массива $Z[j]$ в дальнейшем определялись координаты шести элементов

матричного фотоприемника с равными выходными сигналами (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , (x_4, y_4) , (x_5, y_5) , (x_6, y_6) , по которым вычислялся угол азимута и места на источник оптического излучения.

С использованием выражений математической статистики [5] и разработанной процедуры, представленной в работе [2], в основе которой применялся метод имитационного моделирования Монте-Карло [6], позволяющий с использованием известных исходных данных об угловом положении источника оптического излучения сформировать «подыгрыш» разброса элементов матричного фотоприемника с равными выходными сигналами, получены статистические характеристики ошибок угла азимута и места на источник оптического излучения в зависимости от количества элементов с равными значениями интенсивностей для разработанного алгоритма выбора элементов фотоприемника (зависимость 1) и выбора элементов случайным образом (зависимость 2). Расчеты проводились при следующих исходных данных: размер элемента фотоприемника 15 на 15 мкм, среднеквадратичное отклонение выбора элементов фотоприемника 30 мкм (2 элемента). Результаты моделирования представлены на рисунках 6а и 6б.

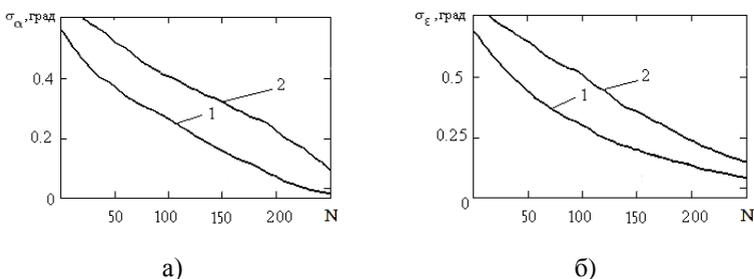


Рис. 6. Графики зависимостей среднеквадратичного отклонения угла азимута (а) и места (б) на источник оптического излучения от количества элементов в фотоприемнике с одинаковым значением интенсивности

Анализ полученных зависимостей показывает, что ошибки в определении направления на источник оптического излучения меньше при использовании разработанного алгоритма выбора шести элементов

фотоприемника, чем при их выборе случайным образом, что показано на рисунке ба и бб зависимостями 1.

Заключение

В данной работе разработан алгоритм выбора элементов фотоприемника при определении угловых координат на источник оптического излучения по анализу распределения интенсивности в плоскости наблюдения. Получены с использованием имитационного моделирования зависимости среднеквадратического отклонения угла азимута и места на источник оптического излучения для двух алгоритмов выбора элементов фотоприемника. Анализ расчетов показывает, что ошибки в определении направления при использовании разработанного алгоритма меньше, чем при выборе элементов фотоприемника с равными интенсивностями случайным образом.

Список литературы

1. Капитанов, В.В. Способ определения угловых координат источника оптического излучения, основанный на анализе распределения интенсивности в плоскости наблюдения / В.В. Капитанов, А.Ю. Козирацкий, М.М. Фролов, С.В. Радько // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XVI международной научно-методической конференции – Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2016. – Т. III. – С. 147 – 152.

2. Капитанов, В.В. Оценка точности определения угловых координат источника лазерного излучения по распределению интенсивности в плоскости матричного фотоприемника / В.В. Капитанов, К.С. Сафонов // XVII Международная научно-методическая конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии», 9–10 февр. 2017 г., под ред. Тюкачева Н.А. – Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2017. – Т. 2. – С. 194 –199.

3. Капитанов, В.В. Определение направления на источник лазерного излучения по распределению интенсивности в плоскости матричного фотоприемника с использованием корреляционной обработки изображений / В.В. Капитанов, А.А. Козирацкий, В.В. Помазков // XX Международная научно-методическая конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии», 9–10 февраля 2020 г., под ред. Зацаринного А.А., Борисова Д.Н. – Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2018. – Т. 2. – С. 525 – 530.

4. Капитанов, В.В. Оценка влияния выбора элементов матричного фотоприемника на точность определения угловых координат источника лазерного излучения по распределению интенсивности в плоскости матричного фотоприемника / В.В. Капитанов, М.М. Фролов,

А.А. Козирацкий, К.С. Сафонов // XIX Международная научно-методическая конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии», 14–15 февраля 2019 г., под редакцией Борисова Д.Н. – Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2019. – С. 340 – 345.

5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: КНОРУС, 2010. – 664 с.

6. Козирацкий, Ю.Л. Имитационная модель угломерного способа координатометрии на основе трехточечных измерителей фазы / Ю.Л. Козирацкий, М.Л. Паринов, С.В. Петренков, Е.А. Мамаджанян // Радиотехника (Журнал в журнале «Информационный конфликт в спектре электромагнитных волн»). – 2016. – № 32. – С. 30-35.