

Разработка компьютерной модели определения координат цели на основе алгоритма розеточного сканирования поверхности матричного фотоприемника

И. Ю. Курьянов, email: igku1@yandex.ru¹
Ю. В. Кузьминов, email: kuzmin0v@mail.ru¹

¹ ВУНЦ ВВС «ВВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Аннотация. На основе алгоритма измерения координат цели с использованием розеточного сканирования мгновенным полем зрения фоточувствительной поверхности матричного фотоприемника разработана компьютерная модель определения угловых координат цели ракетой FIM 92E из состава переносного зенитного ракетного комплекса «Stinger RMP».

Ключевые слова: розеточное сканирование, управляемая ракета, головка самонаведения.

Опыт последних локальных конфликтов показывает весьма значимую роль армейской авиации (АА), решающей широкий спектр задач [1]. Постоянное использование средств армейской авиации повлекло за собой интенсивное развитие маловысотных средств противовоздушной обороны. Одними из самых эффективных таких средств ПВО является переносной зенитный ракетный комплекс «Stinger RMP», имеющем в своем составе ракету FIM 92E. Принцип работы головки самонаведения (ГСН) этой ракеты основан на использовании двухканального матричного фотоприемника (МФП), работающего в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах, что обеспечивает его высокую эффективность функционирования в условиях воздействия как непреднамеренных, так преднамеренных оптико-электронных помех [2]. Следовательно, задача защиты средств армейской авиации от поражения ракетой «FIM 92E Block II» относится к наиболее актуальным.

Поэтому целью работы является разработка наиболее точной модели определения координат цели головкой самонаведения ракеты «FIM 92E Block II» в целях последующего формирования эффективных оптико-электронных помех в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах, снижающих вероятность поражения цели.

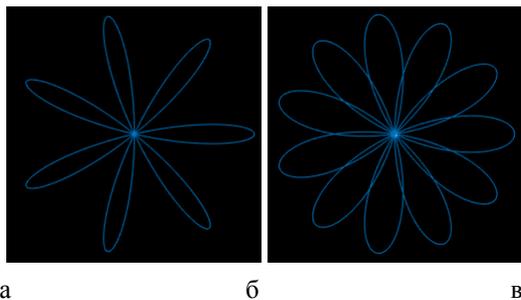
Переносной зенитный ракетный комплекс (ПЗРК) «Stinger RMP» предназначен для поражения как на встречных, так и на догонных

курсах самолетов, включая сверхзвуковые, и вертолетов, совершающих полеты на малых и предельно малых высотах. Двухдиапазонная головка самонаведения, используемая на зенитной управляемой ракете (ЗУР) «FIM 92E Block II», работает в ИК и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах длин волн. Его детекторы ИК и УФ излучений, работающие в одном контуре с двумя цифровыми микропроцессорами, позволяют осуществлять розеткообразное сканирование, что обеспечивает, во-первых, высокие возможности селекции цели в условиях фоновых помех, а во-вторых, защищенность от средств противодействия ИК диапазона. Сканирование по траектории розетки на фоточувствительной поверхности МФП обеспечивается за счет вращательно-противовращательных движений первичного и вторичного зеркал, имеющих наклон относительно оси вращения гироскопа ГСН. Такое сканирование в системе координат X о Y описывается уравнением:

$$\begin{aligned} z(t) &= x(t) + jy(t) \\ x(t) &= r_1 \cos 2\pi f_0 t + r_2 \cos 2\pi f_1 t \\ y(t) &= r_1 \sin 2\pi f_0 t - r_2 \sin 2\pi f_1 t \end{aligned} \quad (1)$$

где r_1, r_2 – радиусы переноса мгновенного поля зрения ГСН за счет наклона первичного и вторичного зеркал, f_1, f_2 – частоты вращения первичного (гироскопа) и вторичного зеркал.

В зависимости от значений частот вращения f_1, f_2 зеркал внешний вид траекторий сканирования может быть нескольких видов (рисунок 1).



$$\begin{aligned} \text{а)} \quad f_1 &= 100 \text{ Гц} & \text{б)} \quad f_1 &= 100 \text{ Гц} \\ f_2 &= 75 \text{ Гц} & f_2 &= 175 \text{ Гц} \end{aligned}$$

Рис. 1. Варианты траекторий сканирования мгновенным полем зрения поверхности МФП

Из [3] известно, что измеритель угловых координат в ГСН с розеточным сканированием должен осуществлять четыре основных операции: дифференцировать сигнал с выхода блока селекции подсистемы информационного обеспечения, умножать результат дифференцирования на некоторую весовую функцию, интегрировать на периоде строки сканирования и усреднять полученный результат.

Учитывая, что положения центра принимаемого импульса на временной оси однозначно связано с угловым положением центра цели, а закон сканирования в связанной с ГСН прямоугольной системы координат задается в параметрической форме функциями $x = x(t)$, $y = y(t)$, алгоритм определения относительной угловой координаты цели вдоль строки сканирования может быть с учетом:

$$x_{ц} = x(t_{ц}) = \frac{1}{2} \int_0^{t_c} x(t) \cdot \left| \frac{d}{dt} A(t, \hat{t}_{ц}, a) \right| \cdot dt \quad (2)$$

$$y_{ц} = y(t_{ц}) = \frac{1}{2} \int_0^{t_c} y(t) \cdot \left| \frac{d}{dt} A(t, \hat{t}_{ц}, a) \right| \cdot dt$$

или

$$\hat{r}_{ц} = r(t_{ц}) = \frac{1}{2} \int_0^{t_c} r(t) \cdot \left| \frac{d}{dt} A(t, \hat{t}_{ц}, a) \right| \cdot dt \quad (3)$$

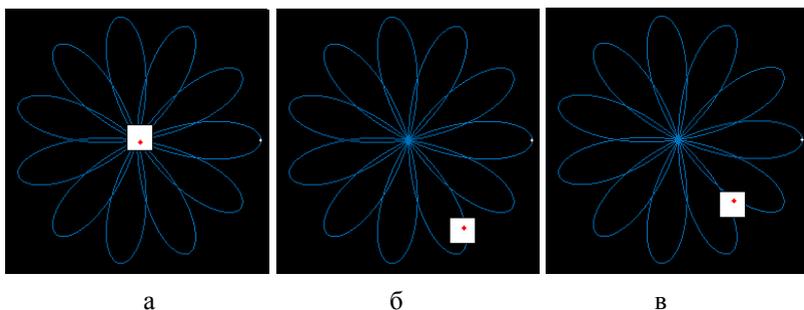
где функция $r(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)} \cdot \text{sign}(t - t_0) = |z(t)|$ характеризует удаление от центра розетки мгновенного поля зрения ГСН, угловые координаты $x(t)$ и $y(t)$, которые определяются выражением (1), $A(t, \hat{t}_{ц}, a)$ — прямоугольный импульс единичной амплитуды и произвольной длительности « a » с центром в точке $t_{ц}, t_c$ — время сканирования по траектории розетки.

Траектория сканирования по розеточному виду была выбрана из расчета рисунка 1б, где частоты сканирования первичного и вторичного зеркал равны $f_1 = 100 \text{ Гц}$, $f_2 = 175 \text{ Гц}$ соответственно. Время всего процесса было выбрано 4000 мс, что примерно соответствует истинному времени между запуском ЗУР и поражению ей цели (с учетом скорости сближения $M=2.2$).

Принцип работы алгоритма и компьютерной программы заключается в следующем. На первом шаге цикла, начинающегося с первой миллисекунды полета ЗУР, создается нулевая матрица такой же

размерности, как и разрешение матричного фотоприемника головки самонаведения FIM 92E Block II – 256×256 pxl (пикселей), имеющая в определенных строках и столбцах ненулевые значения, соответствующие траектории сканирования по розетке в самом начале. Далее происходит поэлементное перемножение полученной матрицы с матрицей, соответствующей фоточувствительной поверхности МФП ГСН ЗУР. После этой операции следует суммирование по строкам результирующей матрицы, вследствие чего образуется матрица-строка. После окончания цикла полученная матрица-строка нормируется и дифференцируется, при этом уменьшается количество элементов матрицы-строки на один элемент справа. На следующем шаге происходит поэлементное перемножение полученной матрицы-строки на матрицу-строку с координатами мгновенного поля зрения ГСН по оси ОХ. Аналогичная операция происходит с матрицей-строкой с координатами мгновенного поля зрения ГСН по оси ОУ. Оба результата перемножения усредняются и тем самым оцениваются координаты самой яркой части (наиболее нагретой) цели по осям ОХ и ОУ.

В целях наиболее качественной оценки полученных координат рассматривались три случая (рисунок 2).



а) цель находится в центре траектории сканирования, б) цель находится на пересечении одного витка розетки в) цель находится на пересечении двух витков розетки

Рис. 2. Варианты траекторий сканирования мгновенным полем зрения поверхности МФП

Блок-схема алгоритма определения угловых координат, на основе которой была написана компьютерная программа по нахождению координат цели в математической среде программирования Matlab R2017b [4], представленная на рисунке 3.

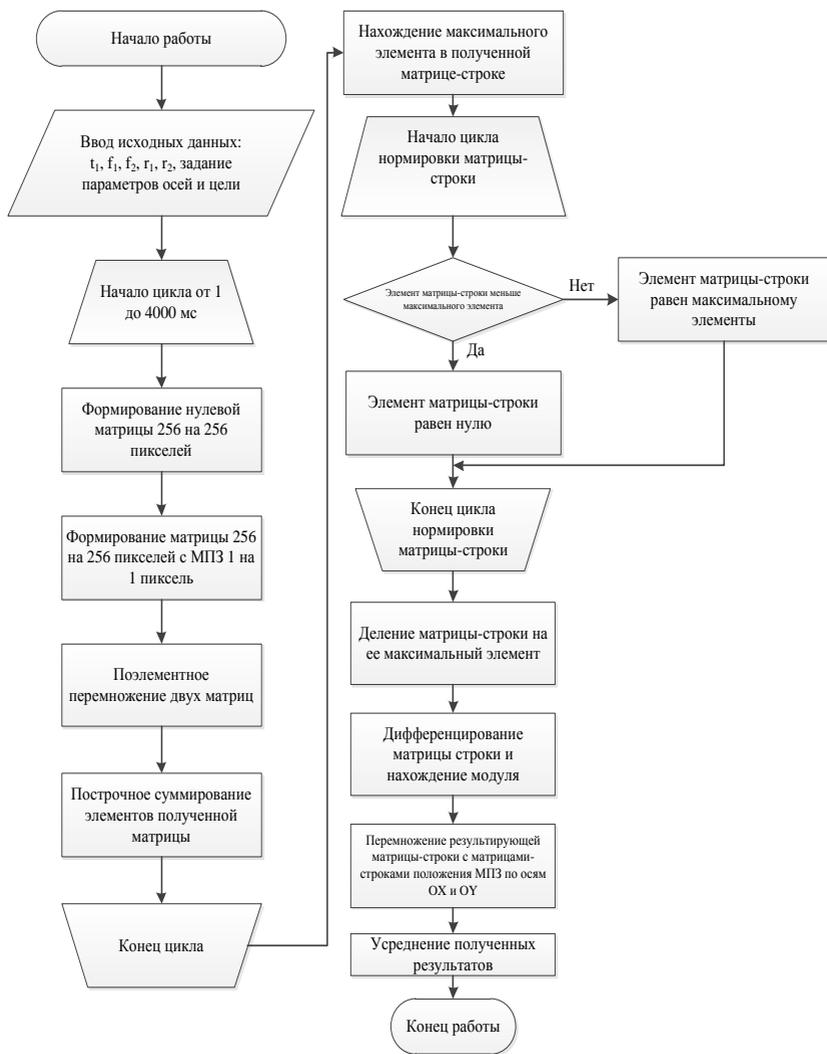


Рис. 3. Блок-схема алгоритма нахождения координат цели розеточным сканированием

На рисунке 4 представлен графический интерфейс работы программы для случая №2. Время сканирования было выбрано 400 мс как время необходимое мгновенному полю зрения, чтобы пройти полный рисунок розетки один раз.

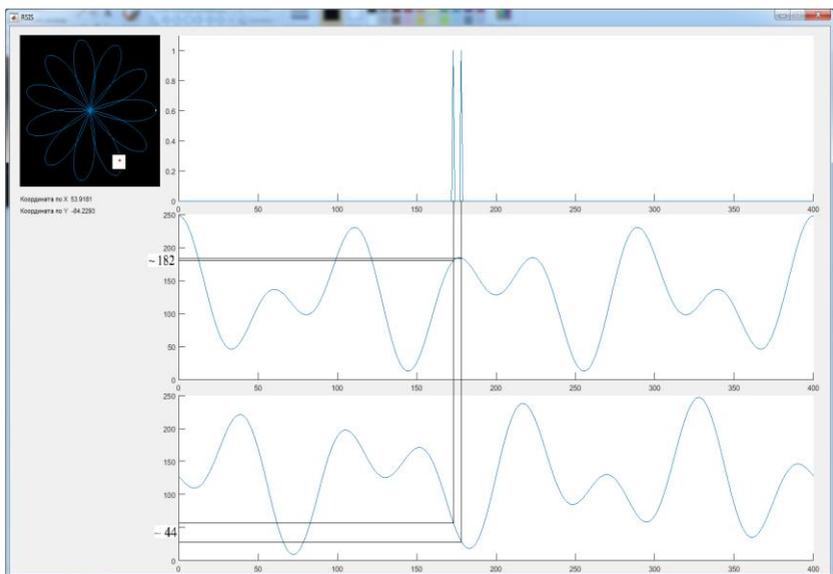


Рис. 4. Интерфейс работы программы для случая, когда цель находится на пересечении одного витка розетки

Из рисунка 4 видно, что найденные координаты по оси ОХ примерно равны 182 пикселя, а по оси ОУ 44 пикселя. Если предположить что координаты центра МФП равны (0;0) пикселей, тогда найденные координаты по осям ОХ и ОУ будут равны 54 и -88 пикселя соответственно. Следует отметить, что зная угол поля зрения головки самонаведения ЗУР (для «Stinger RMP» угол поля зрения равен 2°), разрешение МФП и начальное расстояние между ЗУР и целью можно вычислить угловые координаты цели (рисунок 5).

Выражения для нахождения угловых координат цели в декартовой системе координат имеют вид [5]:

$$X_y = X_n \left(\frac{2}{256} - 1 \right) \frac{\pi}{180} (p a \delta),$$

$$Y_y = Y_n \left(\frac{2}{256} - 1 \right) \frac{\pi}{180} (p a \delta)$$
(4)

где X_y , Y_y – угловые координаты цели; X_n , Y_n – координаты цели в пикселях.

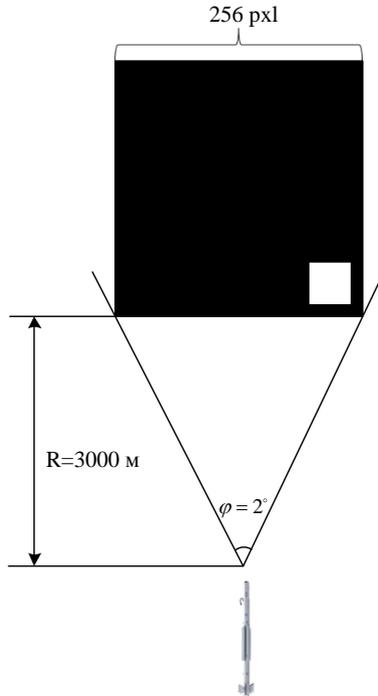


Рис. 5. Постановка задачи нахождения угловых координат цели

Переводя найденные угловые координаты из декартовых в сферические можно определить координаты полета ЗУР к поражаемой цели:

$$\begin{aligned} X_{c\phi} &= R \sin(X_y) \cos(Y_y), \\ Y_{c\phi} &= R \cos(X_y) \cos(Y_y) \end{aligned} \quad (5)$$

где $X_{c\phi}$, $Y_{c\phi}$ – угловые координаты цели; R – расстояние между ЗУР и целью.

Таким образом, разработан алгоритм и компьютерная программа по оцениванию координат цели на основе принципа розеточного сканирования поверхности матричного фотоприемника. Полученные координаты могут быть использованы ЗУР для сопровождения цели в полете после перевода их из декартовых в сферические.

Список литературы

1. Ткачев, В.И. Армейская авиация в системе ПВО общевойскового объединения / В. Ткачев // Военная мысль №3.2005.С.43-47.
2. Куприянов А.И., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. – М.: Вузовская книга, 2011. – 800 с.
3. Hadi Soltanizadeh and Shahriar Baradaran Shokouhi, 2008. Increasing Accuracy of Tracking Loop for the Rosette Scanning Seeker Using Improved ISODATA and Intelligent Center of Gravity. Journal of Applied Sciences, 8: 1159-1168.
4. Терехин В.В. Моделирование в системе MATLAB: Учебное пособие / Кемеровский государственный университет. Новокузнецк: Кузбассвузиздат, 2004. 376с.
5. Исследование алгоритма высокоточного сопровождения ЗУР матричным фотоприемником по блику формирующей оптики системы самонаведения. / И. Ю. Курьянов [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии/ – 2016. – С. 129-136.