

УДК 621.396.67:629.7.028.6.001.4

И.М. ПРИХОДЬКО, В.Н. БЫКОВ, А.М. ГРИЧАНЮК, С.В. ОРЛОВ

Объединенный научный исследовательский институт Вооруженных Сил, Украина

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, УЧИТЫВАЮЩАЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАГРЕВ ОБТЕКАТЕЛЯ АНТЕННЫ

Предлагается усовершенствованная модель формирования изображений в радиометрических системах дистанционного зондирования Земли миллиметрового диапазона волн, отличающаяся возможностью компенсации искажений диаграммы направленности антенны, вызываемых аэродинамическим нагревом антенного обтекателя.

формирование изображений, угловые ошибки, обтекатель, диаграмма направленности антенны, аэродинамический нагрев, система координат

1. Формулировка проблемы

Радиопрозрачные обтекатели антенн, используемых в корреляционно-экстремальных системах навигации (КЭСН) летательных аппаратов (ЛА) в процессе полета подвергаются аэродинамическому нагреву. Это приводит к двумерной неоднородности в электродинамическом смысле материала стенки обтекателя и вызывает различные угловые ошибки положения парциальных диаграмм направленности антенны (ДНА), искажающих формируемое системой навигации изображение земной поверхности.

Анализ литературы. Общепринятой методикой компенсации систематических угловых ошибок обтекателя антенны является профилирование толщины стенок обтекателя для каждого сечения. В [1] такой же подход предлагается для минимизации дополнительных угловых ошибок, возникающих вследствие аэродинамического нагрева. Однако, в случае, когда дальность и скорость ЛА может изменяться в широких пределах, спрофилировать толщину стенки с учетом разброса всех возможных значений величины нагрева обтекателя антенны не представляется возможным.

Цель работы заключается в минимизации суммарной систематической ошибки определения ко-

ординат объектов геодезической привязки, возникающих вследствие нагрева обтекателя антенны для всего диапазона скоростей и траекторий движения летательного аппарата.

2. Решение проблемы

Учет дополнительных угловых ошибок, возникающих вследствие неравномерного нагрева по толщине и образующей обтекателя антенны ЛА можно произвести путем ввода в алгоритмы формирования текущего изображения соответствующих поправок. Воспользуемся одной из возможных моделей формирования изображений корреляционно-экстремальных систем навигации, изложенной в [2]. Для этого, рассчитав температурное поле обтекателя антенны в течение полета и соответствующие ему значения диэлектрических свойств материала, определим величину предполагаемой систематической дополнительной угловой ошибки в определении направления на объект геодезической привязки по каждому направлению сканирования. Результаты расчетов позволят ввести соответствующие поправки в модель формирования изображений и компенсировать влияние аэродинамического нагрева при определении текущего местоположения летательно-

го аппарата относительно объектов геодезической привязки.

Принимаем допущение, что весь раскрыв антенны покрывается боковой поверхностью обтекателя и соответственно систематическая угловая ошибка вследствие нагрева имеет одно направление.

Пусть в целевой системе координат (СК), связанной с поверхностью Земли и расположенной на ней целью таким образом, что ось z направлена по местной вертикали, а оси x, y лежат в касательной плоскости, в плоскости $z = 0$ задано поле радиотеплового изображения $T(x, y)$ в районе коррекции. Полагаем, что в момент съема кадра текущего изображения (ТИ) известны координаты центра масс ЛА (x_0, y_0, z_0) и направляющие косинусы $\mathbf{d}^{ij}$ каждого из лучей многоканальной антенны.

Пусть парциальная ДНА $G_{ij}(\theta, \varphi)$ для некоторого ij -го луча задана в локальной системе координат $(x_{ij}^{ij}, y_{ij}^{ij}, z_{ij}^{ij})$ как функция углов места θ и азимута φ (рис. 1), причем направление максимума ДНА

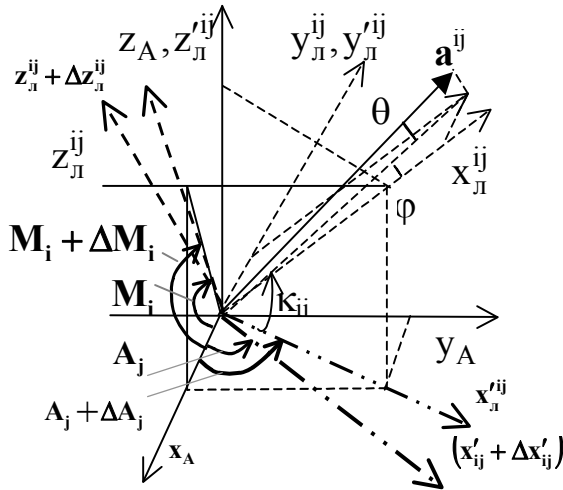


Рис. 1. Локальная система координат

$(\theta = \varphi = 0)$ совпадает с направлением оси x_{ij}^{ij} , угол θ отсчитывается в плоскости $y_{ij}^{ij} = 0$ от оси x_{ij}^{ij} , а угол φ отсчитывается в плоскости $z_{ij}^{ij} = 0$ от оси x_{ij}^{ij} . Направляющий вектор $\mathbf{a}$ прямой, проходящей

через начало координат в направлении (θ, φ) , равен

$$\mathbf{a}(\theta, \varphi) = (\cos \theta \cos \varphi, \cos \theta \sin \varphi, \sin \theta)^T. \quad (1)$$

Антенная температура сигнала, принимаемого по ij -му каналу, без учета затухания на трассе распространения определяется выражением [2]:

$$T_{ij} = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} G_{ij}(\theta, \varphi) T(x'_{ij}, y'_{ij}) d\theta d\varphi, \quad (2)$$

$$i \in \overline{1, N_1}, j \in \overline{1, N_2},$$

где $G_{ij}(\theta, \varphi)$ – функция, описывающая диаграмму направленности антенны по ij -му лучу; N_1, N_2 – размеры матрицы ТИ.

Требуется найти зависимости

$$x'_{ij} = x'_{ij}(\theta, \varphi); \quad y'_{ij} = y'_{ij}(\theta, \varphi),$$

чтобы по формуле (2) смоделировать текущее изображение.

Рассмотрим антенную систему координат (x_A, y_A, z_A) (рис. 1), в которой направление групповой диаграммы направленности антенны совпадает с направлением оси x_A , оси строчных парциальных ДНА лежат в плоскостях, проходящих через ось y_A под углами

$$M_i = -\Delta_M \left[\frac{N_1 - 1}{2} - (i - 1) \right], \quad i \in \overline{1, N_1} \quad (3)$$

к плоскости $z_A = 0$, а оси столбцовых ДНА лежат в плоскостях, проходящих через ось z_A под углами

$$A_j = \Delta_A \left[\frac{N_2 - 1}{2} - (j - 1) \right], \quad j \in \overline{1, N_2}. \quad (4)$$

Векторы угловых поправок имеют следующий вид:

$$\Delta M_{нагрева} = [\Delta M_1 \quad \Delta M_2 \quad \dots \quad \Delta M_i];$$

$$\Delta A_{нагрева} = [\Delta A_1 \quad \Delta A_2 \quad \dots \quad \Delta A_j],$$

где по методике, приведенной в [2], определяются следующие параметры:

$\Delta M_{i\Sigma}$ – суммарная дополнительная угловая поправка к i -му лучу парциальной диаграммы на-

правленности антенны по строкам

$$\Delta M_{i\Sigma} = \Delta M_{i_1} + \Delta M_{i_2} + \Delta M_{i_3};$$

ΔA_j – дополнительная угловая поправка к j -му лучу парциальной диаграммы направленности антенны по столбцам

$$\Delta A_{j\Sigma} = \Delta A_{j_1} + \Delta A_{j_2} + \Delta A_{j_3},$$

являющиеся суммарными дополнительными угловыми ошибками вследствие нагрева обтекателя антенны по i (j)-му направлению с учетом градиента температуры по толщине.

Используя соотношения, приведенные в [2], получим выражение для антенной температуры сигнала, принимаемого по ij -му каналу:

$$T_{ij} = \int_{-\pi-\pi}^{\pi} \int_{-\pi-\pi}^{\pi} G_{ij}(\theta, \varphi) T((x'_{ij} + \Delta x'_{ij}), (y'_{ij} + \Delta y'_{ij})) d\theta d\varphi, \quad (5)$$

$$i \in \overline{1, N_1}, \quad j \in \overline{1, N_2},$$

где $(x_{ij} + \Delta x_{ij})$, $(y_{ij} + \Delta y_{ij})$ – пересчитанные значения координат точки пересечения плоскости $z = 0$ и прямой, проходящей через точку (x_0, y_0, z_0) в направлении вектора $\mathbf{d}^{ij}$.

С целью исследования влияния нагретого обтекателя на вероятность локализации объектов геодезической привязки были проведены статистические испытания алгоритмов локализации. Методика проведения статистических испытаний аналогична методике, описанной в работе [3].

Известно [4], что температура и ее градиент по толщине и образующей обтекателя антенны при различных режимах полета летательного аппарата (равномерном, ускоренном) могут изменяться в широких пределах, причем с ростом величины градиента растут и дополнительные угловые ошибки местоположения парциальной диаграммы направленности антенны (см. рис. 1 работы [4]). При проведении оценки вероятности локализации объектов геодезической привязки для расчета суммарной дополнительной угловой ошибки применялась параболическая аппроксимация соотношений, приведенных в

работе [4], в соответствии с выражением:

$$\Delta M_{i\Sigma}(M_i) = 1,025 - 0,1e - M_i + 0,57e - 4M_i^2. \quad (6)$$

На рис. 2 представлены результаты статистических испытаний, полученные для следующего ряда исходных данных:

- размеры ЭИ $M_1 = M_2 = 20$;
- размеры ТИ $N_1 = N_2 = 10$;
- высота визирования $H = 1000$ м,
- количество итераций $D = 5000$;
- ширина парциальной диаграммы направленности антенны $\Psi_{0,5} = 2^\circ$;
- шаг лучей $\Delta\Omega = 2^\circ$.

Разработанная модель позволяет сформировать радиометрическое изображение с учетом наличия искажений диаграммы направленности антенны, обусловленных аэродинамическим нагревом обтекателя антенны (рис. 2).

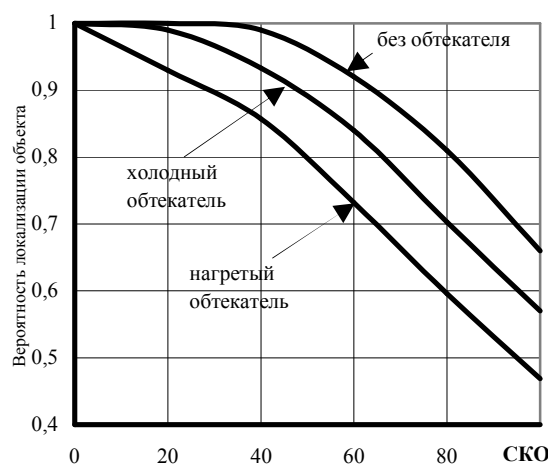


Рис. 2. Влияние нагрева обтекателя на вероятность локализации объекта

Результаты моделирования могут быть использованы в реальных корреляционно-экстремальных системах навигации для компенсации возникающих искажений текущих изображений путем аппроксимации значений радиояркостности по соседним элементам изображения с учетом рассчитанных угловых поправок.

Выводы

Таким образом, полученная в результате усовершенствованная модель формирования радиометрических изображений отличается от известных тем, что направляющие векторы парциальных составляющих диаграммы направленности антенны вычисляются в связанной системы координат с учетом угловых ошибок, вносимых нагретым обтекателем, что позволило оценить влияние этих ошибок на вероятность совмещения изображения в корреляционно-экстремальных системах навигации.

Литература

1. Михайлов В.Ф. Прогнозирование эксплуатационных характеристик антенн с теплозащитой. – С.-Пб.: Судостроение, 1994. – С. 25 – 31.
2. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Гричанюк А.М., Черепнев А.С. Модель формирования изображений в радиометрических матричных корреляционно-экстремальных системах навигации // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 6 (22). – С. 307 – 313.
3. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Вильчинский А.С., Прилепский Е.Д. Моделирование процесса формирования изображений в радиометрических корреляционно-экстремальных системах навигации миллиметрового диапазона волн // Системы обработки

інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 2 (18). – С. 70 – 75.

4. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Шокин М.Г. Оптимальное быстродействие двухуровневого корреляционного алгоритма привязки изображений в двухмерных корреляционно-экстремальных системах навигации // Системы обработки інформації. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вип. 6 (28). – С. 118 – 124.

5. Антюфеев В.И., Бакулин И.Е., Быков В.Н., Гричанюк А.М., Мирошник-Быкова Т.В. Повышение точности местоопределения радиометрических корреляционно-экстремальных систем навигации путем использования методов приближения решающей функции (сообщение 1) // Радиотехника. – 2002. – Вып. 124. – С. 84 – 89.

6. Орлов С.В. Математическая модель навигации летательных аппаратов, включающая парирование дополнительных угловых ошибок вносимых остроконечным антенным обтекателем, обусловленных аэродинамическим нагревом // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2004. – № 3(7). – С. 77 – 80.

Поступила в редакцию 10.01.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.