

УДК 621.396.96

В.К. ВОЛОСЮК, А.В. ЕРЕМЕЕВ, В.В. ПАВЛИКОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

АМПЛИТУДНАЯ СУММАРНО-РАЗНОСТНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В РАДАРАХ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрена задача статистической оптимизации обработки сигналов в радарх с синтезированной апертурой антенны при картографировании рельефа поверхности. В качестве метода пеленгации элементов поверхности рассмотрен метод, основанный на амплитудном моноимпульсном сравнении суммарных и разностных сигналов, снимаемых с выходов антенн, диаграммы направленности которых смещены в угломерной плоскости. В рамках метода максимального правдоподобия синтезирован алгоритм оптимального пеленгования элементов рельефа поверхности. После моноимпульсного сравнения сигналов алгоритмом предусмотрены операции дальнейшего когерентного накопления сигналов, обеспечивающие синтез апертуры антенны в азимутальном направлении.

Ключевые слова: картографирование, пеленгация, высота рельефа, интерферометрические РСА, амплитудный суммарно-разностный РСА, оптимальная обработка.

Введение

Радиолокационные методы картографирования высоты рельефа поверхности по сравнению с методами оптической стереоскопической фотограмметрией имеют ряд преимуществ, связанных с всепогодностью и возможностью картографирования в ночное время. Так как карта высот рельефа является более устойчивым признаком для распознавания поверхности по сравнению с ее радиолокационными или радиометрическими изображениями, то использование данных о высотном профиле рельефа является предпочтительным при решении различных задач навигации летательных аппаратов по картам местности. Одним из первых методов решения такой задачи является метод, основанный на использовании вертикального двухэлементного радиointерферометра, состоящего из двух вдольфюзеляжных антенн, разнесенных по вертикали [1]. В дальнейшем эта идея получила распространение во множестве систем с интерферометрической обработкой сигналов [2, 3].

Разность фаз в интерферометрических системах несет информацию об угловом положении $\theta_h(y)$ импульсного объема сигнала, взаимодействующего с поверхностью расположенной в каждый данный момент времени на известной дальности D_h .

Высота поверхности h может быть определена в соответствии с формулой

$$h(y) = H - D_h \cos[\theta_h(y)]. \quad (1)$$

Здесь H – барометрическая высота или средняя высота относительных неровностей рельефа, рис. 1; D_h – дальность до импульсного объема, имеющего

пространственный размер по дальности $\Delta D = c\tau_n/2$, где c – скорость света, τ_n – длительность импульса.

Фазовый метод определения пеленга на движущийся участок поверхности шириной $c\tau_n/2$ в пределах соответствующего импульсного объема сигнала требует наличия двух разнесенных антенн, расположенных вертикально (обычно на гиросtabilизированной подвеске), или под крыльями горизонтально, что естественно связано с увеличением габаритов антенной системы и с нарушением аэродинамических свойств летательного аппарата (ЛА).

Поэтому в данной работе предлагается метод пеленгации основанный на амплитудном моноимпульсном сравнении суммарно-разностных сигналов [4, 5] с последующим их когерентным накоплением, обеспечивающем синтез апертуры и повышение разрешающей способности картографирования.

Отличием от традиционных моноимпульсных систем пеленгации в предлагаемом методе и системе является то, что наряду с моноимпульсной внутриимпульсной и внутрипериодной обработкой здесь используется когерентное междупериодное накопление, эквивалентное действию синтеза апертуры. Для пеленгации элементов рельефа суммарно-разностной РЛС диаграммы направленности обоих лучей в азимутальном направлении должны быть узкими. В противном случае наличие по азимуту многих элементов рельефа с различными пеленгами в угломерной плоскости не позволит получить достоверное решение поставленной задачи [4]. Синтез апертуры как раз и обеспечивает узкую диаграмму направленности (ДН) в азимутальном направлении [6, 7].

Данную задачу рассматриваем в статистической оптимизационной постановке, при которой первичная обработка суммарного и разностного сигналов выполняется в рамках метода максимального правдоподобия.

Целью работы является синтез и исследование оптимального алгоритма картографирования высоты рельефа поверхности в радарх с синтезированной апертурой антенны (РСА) с амплитудным моноимпульсным сравнением суммарно-разностных сигналов и их последующим когерентным накоплением.

Результаты исследований

Полагаем, что сумма и разность сигналов формируются в антенном СВЧ-блоке до поступления их в приемные устройства. При этом можно считать, что шумы добавляются в соответствующих каналах после формирования суммарного и разностного сигналов. Можно показать, что только в этом случае имеется выигрыш в величине отношения сигнал/шум и точности пеленгации. Формирование суммы и разности, после того, как уже во входных каскадах приемника к каждому сигналу добавлен шум, не повышает точности измерений. Уравнение наблюдения в этом случае можно записать так:

$$\begin{aligned} \bar{u}(t) &= \text{Re} \bar{s}(t, \theta, \bar{\alpha}) + \bar{n}(t), \\ \bar{u}(t) &= \|u_+(t), u_-(t)\|, \\ \bar{s}(t, \theta, \bar{\alpha}) &= \|\dot{s}_+(t, \theta, \alpha), \dot{s}_-(t, \theta, \alpha)\|, \\ \bar{n}(t) &= \|n_1(t), n_2(t)\|, \\ \dot{s}_\pm(t, \theta, \bar{\alpha}) &= \dot{\alpha} \cdot \dot{s}_0(t) \left[G(\theta - \theta_0 - \theta_\delta/2) \pm \right. \\ &\quad \left. \pm G(\theta - \theta_0 + \theta_\delta/2) \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь при известном параметре времени задержки сигнала $t_3 = 2R/c$ и, соответственно, известной дальности (она задается временем задержки) основным неизвестным параметром является пеленг $\theta = \theta_h$. Наряду с неизвестным искомым параметром θ имеется неизвестный несущественный параметр $\dot{\alpha} = \alpha_1 + j\alpha_2$, являющийся амплитудным множителем при отраженном сигнале, обусловленным тем, что коэффициент отражения от движущегося участка поверхности подлежащего пеленгации, является неизвестным. $G(\theta - \theta_0 - \theta_\delta/2)$ и $G(\theta - \theta_0 + \theta_\delta/2)$ – диаграммы направленности (ДН), смещенные на величину $\theta_\delta/2$ относительно равносигнального направления θ_0 в угломерной плоскости, рис. 1.

В азимутальном направлении эти диаграммы направленности совпадают. При этом для формирования изображения поверхности используется суммарная ДН. $n_1(t)$ и $n_2(t)$ – внутренние шумы суммарного и разностного каналов.

Эти каналы полагаются идентичными. Шумы в них статистически независимы и имеют одинаковую спектральную плотность мощности $\frac{N_0}{2}$ и корреляционную функцию $R_{n1}(\tau) = R_{n2}(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau)$.

Информация об угловом положении импульсного объема взаимодействующего с соответствующим участком поверхности, расположенном на высоте h , находится в амплитудных множителях сигнала, изменяющихся по закону суммарной и разностной ДН.

$$\left[G\left(\theta - \theta_0 - \frac{\theta_\delta}{2}\right) \pm G\left(\theta - \theta_0 + \frac{\theta_\delta}{2}\right) \right].$$

Эти множители определяют дискриминационную характеристику углового моноимпульсного пеленгатора, рис. 2.

Разлагая в ряд ДН в окрестности равносигнального направления θ_0 и ограничиваясь первыми двумя членами, находим

$$\begin{aligned} G\left(\theta - \theta_0 - \frac{\theta_\delta}{2}\right) &\approx G(\theta_0) + G^{(1)}(\theta_0) \Delta\theta_h = G_0(1 + g_\theta \Delta\theta_h), \\ G\left(\theta - \theta_0 + \frac{\theta_\delta}{2}\right) &\approx G(\theta_0) - G^{(1)}(\theta_0) \Delta\theta_h = G_0(1 - g_\theta \Delta\theta_h), \end{aligned} \quad (4)$$

где $G_0 = G(\theta_0)$, $g_\theta = \frac{G^{(1)}(\theta_0)}{G(\theta_0)}$ – крутизна нормированной ДН, $G^{(1)}(\theta_0) = \left. \frac{dG(\theta)}{d\theta} \right|_{\theta=\theta_0}$.

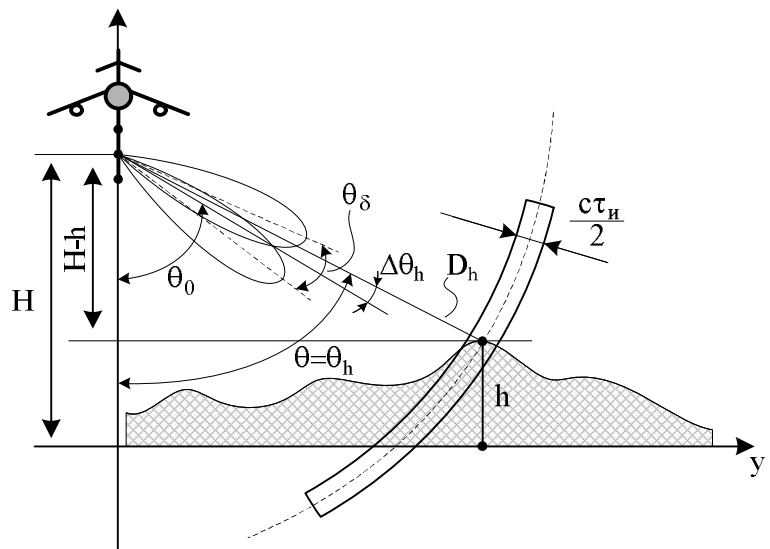


Рис. 1. Измерение высоты рельефа суммарно-разностным РСА

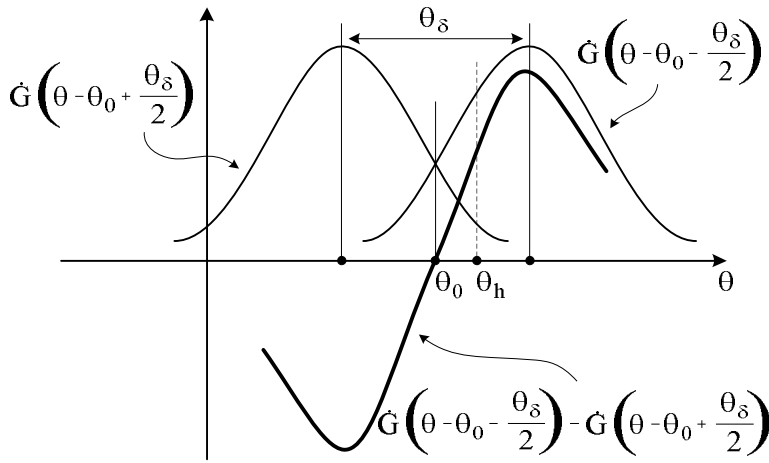


Рис. 2. Формирование разностной ДН (пеленгационной характеристики углового дискриминатора)

В окрестности равносигнального направления

$$G\left(\theta_h - \theta_0 - \frac{\theta_\delta}{2}\right) - G\left(\theta_h - \theta_0 + \frac{\theta_\delta}{2}\right) \approx 2G_0 g_\theta \Delta\theta_h, \quad (5)$$

$$G\left(\theta_h - \theta_0 - \frac{\theta_\delta}{2}\right) + G\left(\theta_h - \theta_0 + \frac{\theta_\delta}{2}\right) \approx 2G_0.$$

Тогда отношение суммарного и разностного сигналов (3) будет равно

$$\frac{\dot{s}_-(t, \theta_h, \dot{\alpha})}{\dot{s}_+(t, \theta_h, \dot{\alpha})} = \frac{\text{Re} \dot{s}_-(t, \theta_h, \dot{\alpha})}{\text{Re} \dot{s}_+(t, \theta_h, \dot{\alpha})} = g_\theta \Delta\theta_h. \quad (6)$$

Искомый пеленг участка взаимодействующего с поверхностью

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta_h. \quad (7)$$

При этом неизвестный амплитудный множитель $\dot{\alpha}$ сокращается и остается лишь одно уравнение относительно одного неизвестного $\Delta\theta_h$, что отражает классический принцип моноимпульсной амплитудной суммарно-разностной пеленгации.

При отсутствии помех этот алгоритм пеленгации можно было бы принять за основу.

Для решения задачи статистической оптимизации обработки сигналов при наличии помех с учетом выражений (2), (3), (5), уравнение наблюдения запишем в виде

$$u_+(t) = \text{Re} 2G_0 \dot{\alpha} \dot{s}_0(t) + n_1(t) = \text{Re} \dot{A}_+(\bar{\lambda}) \dot{s}_0(t) + n_1(t), \quad (8)$$

$$u_-(t) = \text{Re} 2G_0 \dot{\alpha} g_\theta \Delta\theta_h \dot{s}_0(t) + n_2(t) = \text{Re} \dot{A}_-(\bar{\lambda}) \dot{s}_0(t) + n_2(t),$$

$$\dot{A}_+(\bar{\lambda}) = 2G_0 \dot{\alpha}, \quad \dot{A}_-(\bar{\lambda}) = 2G_0 \dot{\alpha} g_\theta \Delta\theta_h, \quad (9)$$

где $\bar{\lambda} = \|\alpha_1, \alpha_2, \Delta\theta_h\|$ – неизвестные параметры сигналов, содержащиеся в амплитудных множителях $\dot{A}(\bar{\lambda})$.

Здесь полезным параметром является лишь параметр $\Delta\theta_h$. Параметры α_1 и α_2 являются несущими.

Эти параметры неизвестны. Их надо либо исключить в результате решения системы уравнений с тремя неизвестными, либо по ним усреднять соответствующие функционалы плотности вероятности [8], если вероятностные распределения этих параметров заданы. Спецификой решения задачи является то, что цель, подлежащая пеленгации является распределенной, и каждый элемент поверхности можно рассматривать как отдельную неподвижную цель. Поэтому для каждого такого элемента пеленг $\Delta\theta_h$ является постоянной величиной.

С одной стороны на интервале наблюдения, превышающем длительность импульса, пеленги каждого из элементов постоянны. С другой стороны перемещение импульсного объема вдоль поверхности создает эффект виртуального движущегося источника. Поэтому, полагая отдельные пеленги константами, можно вначале решить задачу в рамках метода максимального правдоподобия на интервале наблюдения, примерно равном времени удвоенной длительности импульса, что соответствует характеру обработки отдельных импульсов в классических моноимпульсных системах. Полагая далее виртуальную цель движущейся с изменениями пеленга, соответствующими распределению высот рельефа по дальности, можно решать задачу динамической фильтрации на уровне вторичной обработки внутри каждого из периодов, обеспечивая слежение за виртуальной целью. Далее для реализации режима синтеза апертуры необходимо в суммарном и разностном каналах осуществить когерентное накопление импульсов. Последние операции можно выполнить в другой последовательности. Оптимизацию внутриимпульсной и междупериодной обработки можно выполнить в рамках метода максимального правдоподобия. Динамическую фильтрацию следует выполнять с привлечением априорных данных о распределении высот рельефа в рамках байесовских критериев качества.

В постановке рассмотренной ниже задачи считаем, что все неизвестные параметры могут подлежать оценке. И хотя параметры α_1 и α_2 являются несущественными, они являются неизвестными переменными в системе уравнений (8) и в неявном виде участвуют в оценке основного параметра $\Delta\theta_h$.

Модель уравнения наблюдения, в которой все параметры подлежат оценке и относительно которых сигнал как математическая функция полностью определен, будем называть функционально-детерминированной. В литературе [8] часто такую модель

уравнения наблюдения называют моделью с полностью известными параметрами.

Так как шумы в каналах с суммарным и разностным сигналами считаем независимыми, то функционал правдоподобия будет представлять собой произведение двух условных плотностей вероятностей

$$P(\bar{u}/\bar{\lambda}) = P(u_+(t)/\bar{\lambda})P(u_-(t)/\bar{\lambda}) = \\ = k \exp \left\{ \sum_{k=1}^2 \frac{1}{N_{0k}} \int_0^T [u_k(t) - \text{Re} \dot{s}_k(t, \bar{\lambda})]^2 dt \right\}, \quad (10)$$

где $k = \overline{1, 2}$, $t \in (0, T)$,

$$\bar{u}^T(t) = \|u_1(t), u_2(t)\| = \|u_-(t), u_+(t)\|,$$

$$\bar{s}^T(t, \bar{\lambda}) = \|s_1(t, \bar{\lambda}), s_2(t, \bar{\lambda})\| = \|s_+(t, \bar{\lambda}), s_-(t, \bar{\lambda})\|,$$

$$\bar{\lambda}^T = \|\alpha_1, \alpha_2, \Delta\theta_h\|, \quad N_{0k} = N_0.$$

После возведения в квадрат и учета того факта, что $u_k(t)$ в явном виде от $\bar{\lambda}$ не зависит, находим, что

$$P(\bar{u}/\bar{\lambda}) = k \exp \left\{ \sum_{k=1}^2 \left[\text{Re} \dot{Q}_k(\bar{\lambda}) - \mu_k(\bar{\lambda}) \right] \right\}, \quad (11)$$

где $\dot{Q}_k(\bar{\lambda})$ и $\mu_k(\bar{\lambda})$ - корреляционные интегралы и энергетические отношения сигнал/шум для суммарного и разностного сигналов.

$$\dot{Q}_k(\bar{\lambda}) = \frac{2}{N_0} \int_0^T u_k(t) \dot{s}_k(t, \bar{\lambda}) dt, \quad (12)$$

$$\mu_k(\bar{\lambda}) = \frac{1}{N_0} \int_0^T [\text{Re} \dot{s}_k(t, \bar{\lambda})]^2 dt.$$

Запишем эти выражения в таком виде

$$\dot{Q}_k(\bar{\lambda}) = \dot{A}_k(\bar{\lambda}) \dot{Q}_{0k} = \dot{\alpha} \dot{A}_{0k}(\Delta\theta_h) \dot{Q}_{0k},$$

$$\mu_k(\bar{\lambda}) = |\dot{A}_k(\bar{\lambda})|^2 \mu_0 = |\dot{\alpha}|^2 |\dot{A}_{0k}(\Delta\theta_h)|^2 \mu_0, \quad (13)$$

$$A_{01} = A_{0+} = 2G_0, \quad A_{02} = A_{0-} = 2G_0 g_0 \Delta\theta_h,$$

где

$$\dot{Q}_{0k} = \frac{2}{N_0} \int_0^T u_k(t) \dot{s}_0(t) dt, \quad (14)$$

$$\mu_0 = \frac{1}{N_0} \int_0^T [\text{Re} s_0(t)]^2 dt.$$

Величины \dot{Q}_{0k} и μ_0 не зависят от оцениваемых параметров $\bar{\lambda}$. Но необходимо отметить, что в принимаемом сигнале $u_k(t)$ содержится и сигнал и помеха. Причем сигнал содержит амплитудный множитель $A(\bar{\lambda}_i)$, где $\bar{\lambda}_i$ - истинные значения параметров $\bar{\lambda}$. Для поиска максимума функции

правдоподобия необходимо варьировать параметры $\bar{\lambda}$ в окрестности их истинных значений, т.е. дифференцировать функцию правдоподобия по каждому из параметров $\bar{\lambda} = \|\lambda_i\|$

$$\frac{\partial P[\bar{u}(t)/\bar{\lambda}]}{\partial \lambda_i} = 0.$$

Тогда получим,

$$\frac{\partial}{\partial \lambda_i} \left\{ k \exp \left[\sum_{k=1}^2 \left[\text{Re} \dot{A}_k(\bar{\lambda}) \dot{Q}_{0k} - |\dot{A}_k(\bar{\lambda})|^2 \mu_0 \right] \right] \right\} = \\ = k \exp \left[\sum_{k=1}^2 \left[\text{Re} \dot{A}_k(\bar{\lambda}) \dot{Q}_{0k} - |\dot{A}_k(\bar{\lambda})|^2 \mu_0 \right] \right] \times \\ \times \sum_{k=1}^2 \text{Re} \left[\frac{\partial \dot{A}_k(\bar{\lambda})}{\partial \lambda_i} \dot{Q}_{0k} - 2 \frac{\partial \dot{A}_k(\bar{\lambda})}{\partial \lambda_i} \dot{A}_k^*(\bar{\lambda}) \mu_0 \right] = 0$$

или

$$\sum_{k=1}^2 \frac{\partial \dot{A}_k(\bar{\lambda})}{\partial \lambda_i} \left[\dot{Q}_{0k} - 2 \dot{A}_k^*(\bar{\lambda}) \mu_0 \right] = 0.$$

Так как в общем случае $\frac{\partial \dot{A}_k(\bar{\lambda})}{\partial \lambda_i} \neq 0$, то приходим к выводу, что

$$\dot{Q}_{0k}^* = 2 \dot{A}_k^*(\bar{\lambda}) \mu_0 \quad \text{или} \quad \hat{A}_k(\bar{\lambda}) = \frac{\dot{Q}_{0k}^*}{2\mu_0}, \quad (15)$$

где \hat{A}_k - оценка амплитуды \dot{A}_k .

В развернутом виде

$$\hat{A}_+(\bar{\lambda}) = 2(\alpha_1 + j\alpha_2) G_0 = 2\varepsilon e^{j\varphi} G_0 = \frac{\dot{Q}_{01}^*}{2\mu_0},$$

$$\hat{A}_-(\bar{\lambda}) = 2(\alpha_1 + j\alpha_2) G_0 g_0 \Delta\theta_h = \\ = 2\varepsilon e^{j\varphi} G_0 g_0 \Delta\theta_h = \frac{\dot{Q}_{02}^*}{2\mu_0}. \quad (16)$$

Амплитуда \dot{A}_1 и параметры α_1, α_2 интереса здесь не имеют. Их можно исключить, решая эту систему уравнений относительно искомого параметра $\Delta\theta_h$

$$\frac{\hat{A}_-(\bar{\lambda})}{\hat{A}_+(\bar{\lambda})} = \frac{\dot{Q}_{01}^*}{\dot{Q}_{02}^*} = g_0 \Delta\theta_h$$

или

$$\Delta\hat{\theta}_h = \frac{1}{g_0} \cdot \int_0^T u_-(t) \dot{s}_0^*(t) dt \Big/ \int_0^T u_+(t) \dot{s}_0^*(t) dt, \quad (17)$$

где $\Delta\hat{\theta}_h$ - искомая оценка (результат измерения) параметра $\Delta\theta_h$.

Пусть внутренние шумы в колебаниях $u_1(t)$ и $u_2(t)$ отсутствуют. Тогда

$$u_k(t) = \text{Re} \dot{s}_k(t, \bar{\lambda}_n) = \text{Re} \dot{A}_k(\bar{\lambda}_n) \dot{s}_0(t),$$

где $\bar{\lambda}_n$ – совокупность истинных значений параметров $\alpha_1, \alpha_2, \Delta\theta_h$.

В этом случае имеет место лишь сигнальная часть корреляционного интеграла Q_{0k} , не имеющая помеховой составляющей

$$Q_{0kc} = \frac{2}{N_0} \int \text{Re} \{ \dot{A}_k(\bar{\lambda}_n) \dot{s}_0(t) \} \dot{s}_0(t) dt.$$

Учитывая, что для любой комплексной величины \dot{B}

$$\text{Re} \dot{B} = (\dot{B} + \dot{B}^*) / 2,$$

находим, что

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{0kc} &= \frac{1}{N_0} \int_0^T \left[\dot{A}_k(\bar{\lambda}_n) \dot{s}_0(t) + \dot{A}_k^*(\bar{\lambda}_n) \dot{s}_0^*(t) \right] \dot{s}_0(t) dt = \\ &= \frac{1}{N_0} \int_0^T \dot{A}_k(\bar{\lambda}_n) [\dot{s}_0(t)]^2 dt + \frac{1}{N_0} \int_0^T \dot{A}_k^*(\bar{\lambda}_n) |\dot{s}_0(t)|^2 dt. \end{aligned}$$

Сигнал $[\dot{s}_0^*(t)]^2$ содержит множитель удвоенной высокой частоты $e^{-j\omega_0 t} \cdot e^{-j\omega_0 t}$. Интеграл от такой функции практически равен нулю по сравнению с первым интегралом, в котором аналогичные множители содержат разные знаки и $e^{j\omega_0 t} \cdot e^{-j\omega_0 t} = 1$.

Тогда

$$\dot{Q}_{0kc} = \frac{1}{N_0} \int_0^T \dot{A}_k(\bar{\lambda}_n) [\dot{s}_0(t)]^2 dt,$$

где $\dot{S}_0(t)$ – комплексная огибающая сигнала $\dot{s}_0(t) = \dot{s}_0(t) e^{j\omega_0 t}$.

Отношение (17) в этом случае

$$\begin{aligned} \frac{\dot{Q}_{02c}}{\dot{Q}_{01c}} &= \frac{\int_0^T \dot{A}_-(\bar{\lambda}_n) |\dot{s}_0(t)|^2 dt}{\int_0^T \dot{A}_+(\bar{\lambda}_n) |\dot{s}_0(t)|^2 dt} = \\ &= \frac{(\lambda_{1u} + j\lambda_{2u}) G_0 g_0 \Delta\theta_{hu} \int_0^T |\dot{s}_0(t)|^2 dt}{(\lambda_{1u} + j\lambda_{2u}) G_0 \int_0^T |\dot{s}_0(t)|^2 dt} = g_0 \Delta\theta_{hu}, \\ \lambda_{1u} + j\lambda_{2u} &= \alpha_{1u} + j\alpha_{2u}. \end{aligned}$$

Это отношение является вещественным и равно $\Delta\theta_h = \Delta\theta_{hu}$ (с точностью до известного множителя крутизны g_0), истинному значению параметра. При

наличии шумов это отношение имеет погрешность оценки величины $g_0 \Delta\theta_h$, являющуюся и случайной и комплексной величиной.

Следует отметить то важное обстоятельство, что в полученном отношении исключается зависимость оцениваемого параметра от неизвестной и случайной амплитуды и фазы отраженного сигнала. Выходное воздействие такого оптимального дискриминатора, пропорциональное величине $g_0 \Delta\theta_h$, является управляющим для исполнительных органов системы слежения суммарно-разностной системы за движущимся импульсным объектом, взаимодействующим с поверхностью.

Заметим, что уравнения наблюдения (2), (8) записаны в упрощенном виде. Соответственно упрощенный вид имеют и алгоритмы обработки принятых сигналов. Однако более детальное представление и уравнений наблюдения и полученных алгоритмов показывает, что, несмотря на их кажущуюся простоту, в них сосредоточены когерентные операции внутрипериодной и межпериодной обработки импульсных сигналов, отличающиеся от упрощенных операций моноимпульсного сравнения в классических суммарно-разностных амплитудных радиовизирах.

Для того чтобы реализовать полученные алгоритмы, необходимо классические моноимпульсные системы этого класса дополнить каналами фазирования сигналов и системами их когерентного накопления, обеспечивающими синтез апертуры.

Выводы

Получен алгоритм оптимального пеленгования элементов рельефа поверхности для решения задачи картографирования ее высотного профиля с помощью РСА.

Основой алгоритма является использование метода моноимпульсного сравнения суммарного и разностного сигналов, снимаемых с выходов антенны, диаграммы направленности которой смещены в угломерной плоскости.

Особенностью алгоритма является то, что после моноимпульсного сравнения сигналов в нем предусмотрены операции их дальнейшего когерентного накопления, обеспечивающие создание искусственного раскрытия в азимутальном направлении, т.е. синтез апертуры.

Литература

1. Грехэм, Л.Ц. Радиointерферометр с синтетизированной апертурой для картографирования [Текст] / Л.Ц. Грехэм // ТИИЭР. – 1974. – Т. 62, № 6. – С. 133 – 140.
2. Волосюк, В.К. Оптимизация обработки сиг-

налов в радиолокаторах с синтезированной апертурой с фазовым пеленгованием элементов поверхности при картографировании ее рельефа [Текст] / В.К. Волосюк, А.В. Еремеев, М.В. Токарев // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 4. – С. 46 – 50.

3. Еремеев, А.В. Оптимизация обработки сигналов в интерферометрических радарх с синтезированной апертурой антенны для повышения точности определения высоты рельефа [Текст] / А.В. Еремеев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 3. – С. 96 – 100.

4. Родс, Д.Р. Введение в моноимпульсную радиолокацию [Текст] / Д.Р. Родс. – М.: Сов. радио, 1960. – 160 с.

5. Леонов, А.И. Моноимпульсная радиолокация [Текст] / А.И. Леонов, К.И. Фомичев. – М.: Сов. радио, 1970. – 392 с.

6. Волосюк, В.К. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации [Текст] / В.К. Волосюк, В.Ф. Кравченко. – М.: Физматлит, 2008. – 704 с.

7. Кондратенков, Г.С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли [Текст] / Г.С. Кондратенков, А.Ю. Фролов. – М.: Радиотехника. – 2005. – 368 с.

8. Фалькович, С.Е. Оценка параметров сигнала [Текст] / С.Е. Фалькович. – М.: Сов. радио, 1970. – 335 с.

Поступила в редакцию 12.12.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры приема, передачи и обработки сигналов В.В. Лукин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АМПЛІТУДНА СУМАРНО-РІЗНИЦЕВА ОБРОБКА СИГНАЛІВ В РАДАРАХ С СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ АНТЕНИ ПРИ КАРТОГРАФУВАННІ РЕЛЬЄФУ ПОВЕРХНІ

В.К. Волосюк, О.В. Єремєєв, В.В. Павліков

Розглянута задача статистичної оптимізації обробки сигналів в радарх з синтезованою апертурою антени при картографуванні рельєфу поверхні. В якості методу пеленгації елементів поверхні розглянуто метод, який ґрунтується на амплітудному моноімпульсному порівнянні сумарних та різницевих сигналів, які знімаються з виходів антен, діаграми спрямованості яких зміщені в кутомірній площині. В рамках методу максимальної правдоподібності синтезовано алгоритм оптимального пеленгування елементів рельєфу поверхні. Після моноімпульсного порівняння сигналів алгоритмом передбачувані операції подальшого когерентного накопичування сигналів, які забезпечують синтез апертури антени в азимутальному напрямку.

Ключові слова: картографування, пеленгація, висота рельєфу, інтерферометричні РСА, амплітудний сумарно-різницевий РСА, оптимальна обробка.

AMPLITUDE SUM-DIFFERENCE SIGNAL PROCESSING IN SYNTHETIC APERTURE RADARS FOR MAPPING SURFACE TOPOGRAPHY

V.K. Volosyuk, A.V. Yermeyev, V.V. Pavlikov

The problem of statistical optimization of signal processing in synthetic aperture radar for mapping surface topography is investigated. The method for direction finding of surface elements based on monopulse amplitude comparison of the sum and difference signals from the two antennas with directivity patterns displaced in the goniometric plane is considered. The maximum likelihood approach is used to synthesize an optimal algorithm for direction finding of surface elements. Monopulse comparison of signals is followed by coherent accumulation of signals that allows antenna aperture synthesis in the azimuthal direction.

Key words: mapping, direction finding, height of the relief, interferometric SAR, amplitude sum-difference SAR, optimal processing.

Волосюк Валерій Константинович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри проектування радіоелектронних систем летальних апаратів, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина, e-mail: valeriy_volosyuk@mail.ru.

Єремєєв Александр Викторович – аспірант кафедри проектування радіоелектронних систем летальних апаратів, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина, e-mail: a.yermeev@gmail.com.

Павліков Владимир Владимирович – канд. техн. наук, докторант кафедри проектування радіоелектронних систем летальних апаратів, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина, e-mail: pavlikov_kharkov@mail.ru.