

Выбор параметров геометрии облучения посадочной площадки для построения бортовой интерферометрической РЛС безопасной посадки вертолета

Сейн Хту, Баскаков А. И.

Кафедра Радиотехнических приборов, Национального исследовательского университета (Московский Энергетический Институт), г. Москва; E-mail: shwekyunthar@gmail.com

Обоснован выбор геометрии облучения посадочной площадки для разработки бортового интерферометрической РЛС, работающей на частоте 35 ГГц ($\lambda = 8,6$ мм), предназначенной для контроля состояния места посадочной площадки перед посадкой в запыленной среде в дневных и ночных условиях, а также в сложных метеоусловиях.

This paper presents the choice of parameters of ground surface irradiation geometry for the design of an airborne radar, operating at millimeter wave and intended to be used as a helicopter assisted landing system before landing in a dusty environment and on rough unprepared terrain in the day time and night time as well as under adverse weather conditions.

Введение

Посадка вертолета на не подготовленную посадочную площадку (ПП) в сложных метеоусловиях при плохой визуальной видимости может привести к аварии. Для решения этой проблемы предлагается применять интерферометрический радиолокатор с широкополосным зондирующим сигналом, установленный на борту вертолета, преимуществом которого является возможность получения высококачественного изображения ПП с определением характера рельефа (например, овраги, уклоны, холмы) и наблюдения ПП независимо от метеоусловий и от наличия пылевого облака, образующегося из-за винта вертолета

Целью является выбор геометрии облучения ПП для разработки бортовой интерферометрической РЛС, работающей на частоте 35 ГГц ($\lambda = 8,6$ мм) и предназначенной для получения перед посадкой необходимой информации о состоянии рельефа на ПП.

Постановка задачи и геометрия облучения

Для обеспечения безопасности вертолета при заходе на посадку со скоростью ≤ 15 м/с производится съемка поверхности ПП с высоты $H = 50 \dots 100$ м. Размер ПП порядка 100×100 м, перед посадкой вертолет согласно летному регламенту должен совершить маневр [1], траектория которого соответствует облету выбранной ПП и приведена на рис. 1.

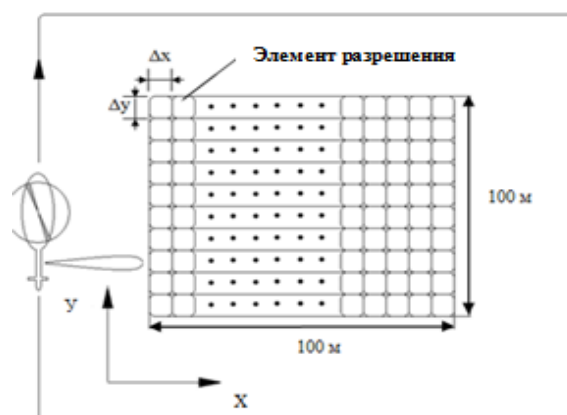


Рис. 1. Траектория облета вертолета при обзоре выбранной ПП

На рис. 2 показана геометрия визирования ПП интерферометрической РЛС. Применяются две линейные волноводно-щелевые антенны $A1$ и $A2$, образующие базу B .

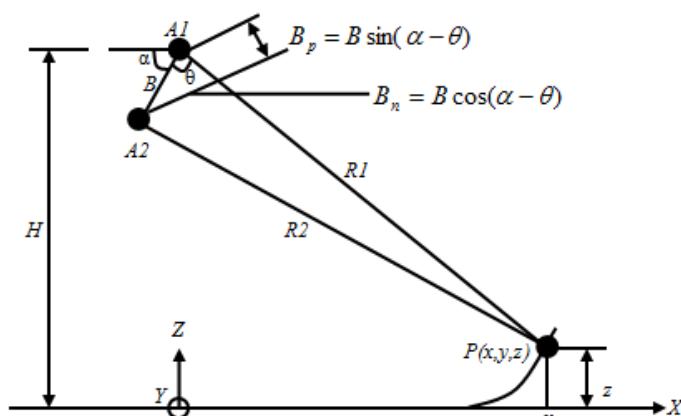


Рис. 2. Геометрия визирования интерферометрической системы

Радиолокационные эхосигналы, излучаемые первой антенной и полученные в двух приемниках, после соответствующей обработки формируют интерферограмму, содержащую трехмерное изображение поверхности. Разность фаз сигналов Φ на входах приемников, несущая информацию об ординате z , пропорциональна разности хода лучей $R1-R2=\Delta$ с коэффициентом пропорциональности $k = 2\pi/\lambda$ [2]

$$z = H - R1 \cos \theta, \quad (1)$$

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} (R1 - R2) = k\Delta. \quad (2)$$

Соотношение между углом наклона базы α , углом облучения θ и разностью хода лучей Δ получается из геометрии облучения и выражений (1) и (2):

$$z = H - R1 \left\{ \cos \alpha \sqrt{1 - \left[\frac{R1^2 + B^2 - (R1 - \Phi/k)^2}{2BR1} \right]^2} + \sin \alpha \left[\frac{R1^2 + B^2 - (R1 - \Phi/k)^2}{2BR1} \right]^2 \right\}. \quad (3)$$

Из (3) видно, что определение ординаты z является функцией следующих параметров: высота носителя H , наклонная дальность $R1$, наклон базы относительно горизонта α , база B и разность фаз Φ . Общая погрешность измерения ординаты z вызваны следующими причинами: дисперсией оценки высоты элемента разрешения из-за погрешности оценки разности фаз $\sigma_z^2 \Phi$; погрешностью юстировки угла наклона базы $\sigma_z^2 \alpha$; погрешностью измерения высоты полета вертолета $\sigma_z^2 H$; погрешностью измерения расстояния до элемента разрешения $\sigma_z^2 R1$; погрешностью неточного знания размера базы $\sigma_z^2 B$.

Важно отметить, при определении высоты элемента разрешения, систематические составляющие указанных погрешностей могут быть скомпенсированы. Если этого не делать, то рельеф интересующей нас поверхности оценивается относительной величиной. Полученные результаты позволяют провести анализ факторов, влияющих на качественные характеристики радионаблюдения.

Наибольшее внимание уделяется анализу погрешностей $\sigma_{z\Phi}$, связанных с оценкой разности фаз Φ . Геометрическое представление задачи радиолокационного интерферометрического зондирования позволяет выбрать наиболее выгодный режим облучения поверхности с точки зрения минимизации данной погрешности. Поскольку $\frac{dz}{d\Phi} = \frac{dz}{d\theta} \frac{d\theta}{d\Delta} \frac{d\Delta}{d\Phi}$, тогда получим

$$\frac{dz}{d\Phi} = -\frac{R_2 \sin \theta}{kB \cos(\alpha - \theta)} = -\frac{\lambda R_2 \sin \theta}{2\pi B \cos(\alpha - \theta)}, \quad (4)$$

где, считая $R_2 \approx R_1 \approx H / \cos(\theta)$, получим

$$\sigma_{z\Phi} = \frac{\lambda H \operatorname{tg} \theta}{2\pi B \cos(\alpha - \theta)} \sigma_{\Phi}. \quad (5)$$

Из (5) ясно, что для уменьшения СКО $\sigma_{z\Phi}$ необходимо увеличивать относительный размер базы $L_b = B/\lambda$ (например, укорачивая длину волны или увеличивая расстояние между двумя антеннами), уменьшать высоту и угол визирования, т.е. снижение погрешности $\sigma_{z\Phi}^2$ может быть осуществлено за счет выбора режима облучения поверхности при работе интерферометрической РЛС. Однако, окончательные выводы об оптимальном выборе режима облучения можно будет сделать только после тщательного исследования зависимости $\sigma_{z\Phi}$ от L_b , α , H и θ .

На рис. 3 показана зависимость $\sigma_{z\Phi}/\sigma_{\Phi}$ от относительного размера базы при различной высоте полета вертолета H .

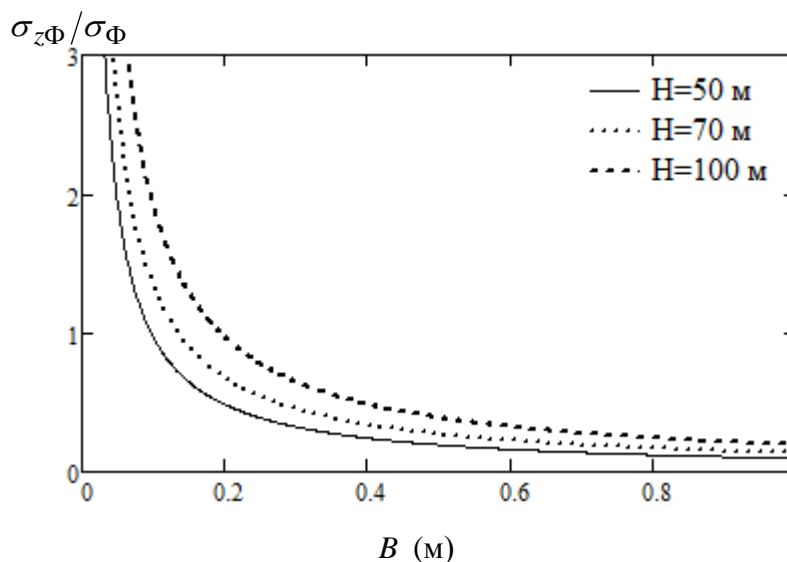


Рис. 3. Зависимость $\sigma_{z\Phi}/\sigma_{\Phi}$ от относительного размера базы при различной высоте полета вертолета H , $\theta = 45^\circ$

На рис. 4 показана зависимость $\sigma_{z\Phi}/\sigma_{\Phi}$ от относительного размера базы при различных углах визирования θ .

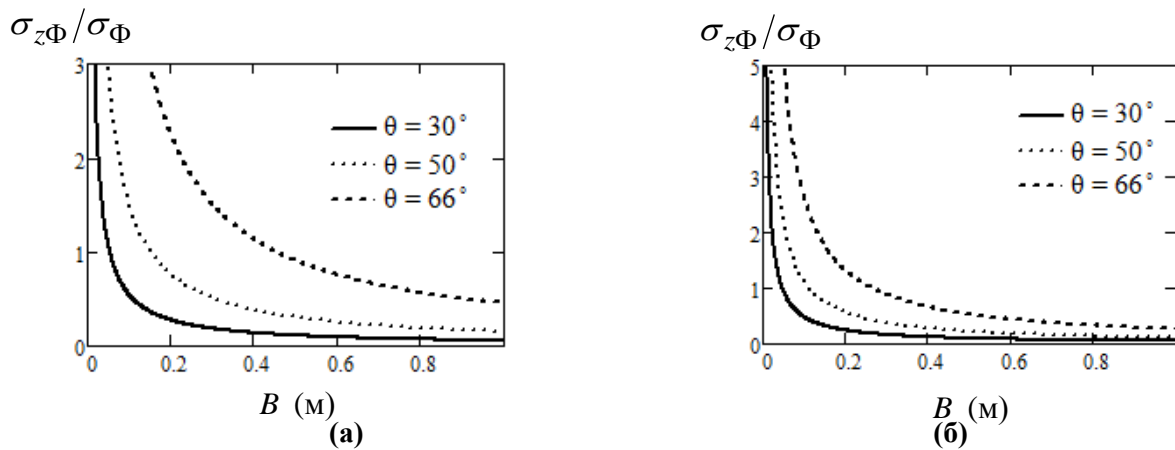


Рис. 4. Зависимость $\sigma_{z\Phi}/\sigma_{\Phi}$ от относительного размера базы при различных углах визирования θ ; $H = 60$ м, (а) $\alpha = 0^\circ$ (б) $\alpha = 20^\circ$

Остальные составляющие, входящие в общую погрешность, зависят от методики проведения эксперимента. Например, погрешность измерения ординаты элемента разрешения из-за неточности знания размера базы B между антеннами

$$\frac{dz}{dH} = \frac{dz}{d\theta} \frac{d\theta}{dB} = R_1 \sin \theta \left[\frac{\operatorname{tg}(\alpha - \theta)}{B} - \frac{1}{R_1 \cos(\alpha - \theta)} \right],$$

то есть

$$\sigma_{zB} = R_1 \sin \theta \left[\frac{\operatorname{tg}(\alpha - \theta)}{B} - \frac{1}{R_1 \cos(\alpha - \theta)} \right] \sigma_B. \quad (7)$$

На рис. 5 показана зависимость σ_{zB}/σ_B от длины B для различных углов наклона базы α при фиксированном угле визирования θ .

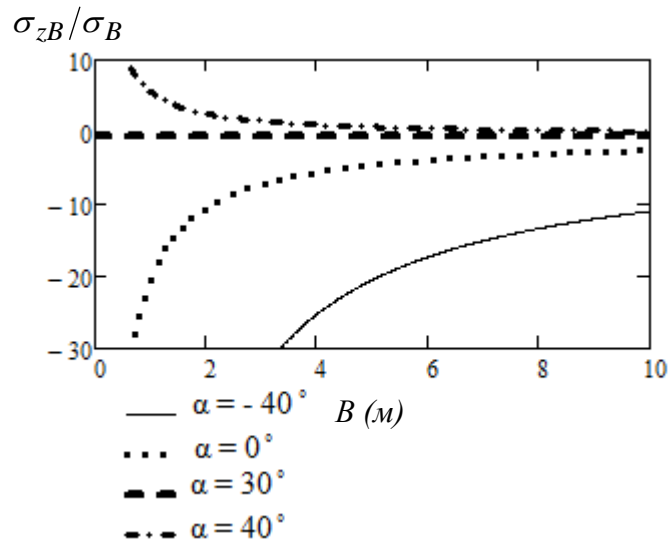


Рис. 5. Зависимость σ_{zB}/σ_B от длины базы при различных углах наклона, $H=60$ м, $\theta = 30^\circ$

Из рис. 5 видно, что требуемый угол наклона базы α , при котором σ_{zB} минимальна, соответствует $\alpha = \theta$.

Выводы

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- При выборе геометрии облучения посадочной площадки необходимо учитывать высоту полета вертолета, отношение размера базы к длине волны, угол облучения. Все эти факторы влияют на точность измерения ординаты z . Например, во всех случаях с ростом $L_b = B/\lambda$ точность оценки рельефа ПП возрастает.

- Показана необходимость выбора оптимального угла наклона базы α для бортовой интерферометрической РЛС. Получено, что оптимальным углом наклона базы является $\alpha = \theta$, а влияние наклона базы в диапазоне углов $\alpha_1 = \theta + \Delta\alpha$ и $\alpha_2 = \theta - \Delta\alpha$ одинаково, поскольку соблюдается симметрия относительно ориентации базы $\alpha = \theta$. Однако в данном случае для вертолета оптимальный наклон базы трудно обеспечить. Две линейные волноводно-щелевые антенны $A1$ и $A2$, образующие базу B , конструктивно размещаются на хвостовой балке вертолета при $\alpha = 0$.

Литература

1. Сейн Хту, Баскаков А.И. Особенности отражения и расчет энергетических характеристик для проектирования бортовой РЛС безопасной посадки вертолета // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 2(2). С. 49-55.
2. A. I. Baskakov, Ka Min Ho. Analysis of the effect of phase noise on the accuracy characteristics of interferometric fixed-baseline SARs // Earth. Obs. Rem. Sens., 2000, Vol. 16, pp. 247-256.