

УДК 621.396.96

УГЛОВОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ЦЕЛЕЙ В МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

А.Е. ОХРИМЕНКО

*Научно-производственное республиканское унитарное предприятие "Алевкурп"
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 21 декабря 2009

Описывается механизм трансформации разрешающей способности по дальности в угловые и линейные разрешения по горизонтали и вертикали для многопозиционных активно-пассивных РЛС через соответствующие якобианы преобразований, определяются условия, при которых достигаются требуемые разрешения.

Ключевые слова: полуактивные и пассивные бистатические и многопозиционные РЛС, координатные поверхности, эллиптический и гиперболический методы определения координат.

Введение, постановка задачи

Главным недостатком существующих однопозиционных радиолокационных систем является плохая радиотехническая скрытность и, как следствие, низкая живучесть. Поэтому перспективными принято считать многопозиционные активно-пассивные радиолокационные системы (МП АП РЛС), использующие либо отраженный от целей сигнал при постороннем их под свете (полуактивные МП РЛС), либо собственное радиоизлучение целей (пассивные МП РЛС) [1, 2].

Такие МП АП РЛС можно представить совокупностью бистатических полуактивных или пассивных РЛС, использующих эллиптический или гиперболический методы определения координат целей, не требующие углометрии. Для каждой бистатической РЛС существует координатная поверхность как геометрическое место точек, сумма (или разность) расстояний которых до фокусов (r_1, r_2) в которых расположены передающий и приемный пункты полуактивной бистатической РЛС (или два приемных пункта пассивной бистатической РЛС), есть величина постоянная. В первом случае эта координатная поверхность есть эллипсоид вращения, во втором случае – гиперболоид вращения. При наличии трех бистатических РЛС место расположения цели определяется как точка пересечения трех соответствующих координатных поверхностей. Несмотря на отсутствие остронаправленных антенных систем излучения и приема радиосигналов в интересах углометрии, угловое разрешение целей при этом возможно как результат трансформации разрешающей способности по дальности (сумме или разности дальностей до фокусов координатных поверхностей) в разрешение в картинной плоскости. Координатные поверхности можно характеризовать толщиной, которая определяется разрешающей способностью по суммарной дальности $r_+ = r_1 + r_2$ в полуактивной бистатической РЛС:

$$\Delta r_+ = c / \Delta f_o \quad (1)$$

или по разности дальностей $r_- = r_1 - r_2$ в пассивной бистатической РЛС:

$$\Delta r_- = c / \Delta f_o, \quad (2)$$

где Δf_o — ширина спектра сигнала подсвета (или собственного радиоизлучения) цели, c — скорость распространения света.

При пересечении координатной поверхности с бистатической плоскостью на дальности цели r_u образуется участок, угловые ($\Delta\beta$, $\Delta\omega$) и линейные (Δx , Δz) размеры которого по горизонтали и вертикали характеризуют угловое и линейное разрешение в азимутальной и угломестной плоскостях:

$$\Delta x = \Delta\beta r_u, \quad \Delta z = \Delta\epsilon r_u. \quad (3)$$

2. Решение задачи

На рис. 1 показано расположение элементов полуактивной и пассивной бистатических РЛС. Из рисунка, согласно теореме косинусов, следует:

$$r_2^2 = r_1^2 + d^2 - 2dr_1 \cos\varphi = r_1^2 + d^2 - 2dr_1 \cos\beta \cos\epsilon. \quad (4)$$

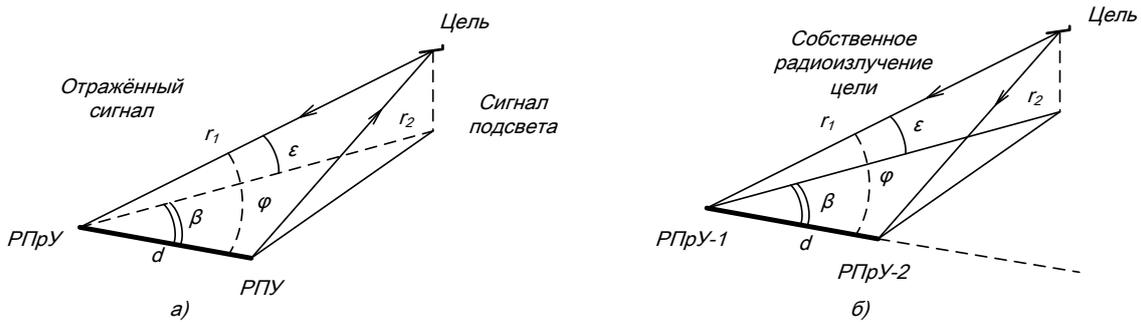


Рис. 1. Бистатические РЛС: а — полуактивная; б — пассивная

Отсюда для полуактивной бистатической РЛС с эллиптическим (суммарно-дальномерным) методом определения координат, когда суммарная дальность $r_+=r_1+r_2$ следует соотношение

$$r_+ - r_1^2 = r_1^2 + d^2 - 2dr_1 \cos\beta \cos\epsilon,$$

определяющее дальность до цели от приемного пункта

$$r_1 = \frac{r_+^2 - d^2}{2(r_+ - d \cos\beta \cos\epsilon)}, \quad (5)$$

а для пассивной бистатической РЛС с гиперболическим (разностно-дальномерным) методом определения координат, когда разность дальностей $r_-=r_1-r_2$, следует соотношение

$$r_- - r_1^2 = r_1^2 + d^2 - 2dr_1 \cos\beta \cos\epsilon,$$

определяющее дальность до цели от приемного пункта

$$r_1 = \frac{r_-^2 - d^2}{2 r_- - d \cos\beta \cos\epsilon}. \quad (6)$$

Полученные выражения (5), (6) позволяют количественно оценить описанную выше трансформацию разрешающей способности по дальности Δr_+ или $\Delta r_-(1, 2)$ в разрешающую способность по горизонтали Δx и вертикали Δz в картинной плоскости. С этой целью находим якобианы преобразований $r_1 \rightarrow \beta$ и $r_1 \rightarrow \epsilon$:

– для полуактивной бистатической РЛС, используя (5),

$$\frac{\partial r_1}{\partial \beta} = \frac{d r_+^2 - d^2 \sin \beta \cos \varepsilon}{4 r_+ - d \cos \beta \cos \varepsilon}^2, \quad (7)$$

$$\frac{\partial r_1}{\partial \varepsilon} = \frac{d r_+^2 - d^2 \sin \varepsilon \cos \beta}{4 r_+ - d \cos \beta \cos \varepsilon}^2, \quad (8)$$

– для пассивной бистатической РЛС, используя (6),

$$\frac{\partial r_1}{\partial \beta} = \frac{d r_-^2 - d^2 \sin \beta \cos \varepsilon}{4 r_- - d \cos \beta \cos \varepsilon}^2, \quad (9)$$

$$\frac{\partial r_1}{\partial \varepsilon} = \frac{d r_-^2 - d^2 \sin \varepsilon \cos \beta}{4 r_- - d \cos \beta \cos \varepsilon}^2, \quad (10)$$

что позволяет определить разрешающую способность по азимуту $\Delta\beta$ и углу места $\Delta\varepsilon$, а также — по горизонтали Δx и вертикали Δz в картинной плоскости (3):

– для полуактивной бистатической РЛС, используя (7,8),

$$\Delta\beta = \frac{\Delta r_+}{\frac{\partial r_1}{\partial \beta}} = \frac{4\Delta r_+ r_+ - d \cos \beta \cos \varepsilon}^2}{d r_+^2 - d^2 \sin \beta \cos \varepsilon}, \quad (11)$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta r_+}{\frac{\partial r_1}{\partial \varepsilon}} = \frac{4\Delta r_+ r_+ - d \cos \beta \cos \varepsilon}^2}{d r_+^2 - d^2 \sin \varepsilon \cos \beta}, \quad (12)$$

– для пассивной бистатической РЛС, используя (9,10),

$$\Delta\beta = \frac{\Delta r_-}{\frac{\partial r_1}{\partial \beta}} = \frac{4\Delta r_- r_- - d \cos \beta \cos \varepsilon}^2}{d r_-^2 - d^2 \sin \beta \cos \varepsilon}, \quad (13)$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta r_-}{\frac{\partial r_1}{\partial \varepsilon}} = \frac{4\Delta r_- r_- - d \cos \beta \cos \varepsilon}^2}{d r_-^2 - d^2 \sin \varepsilon \cos \beta}. \quad (14)$$

3. Оценка полученных результатов и выводы

Полуактивная бистатическая РЛС (рис. 1,а). Учитывая, что суммарная дальность, как правило, значительно превышает базу

$$r_+ = r_1 + r_2 \gg d,$$

угловое и линейное разрешения в азимутальной (горизонтальной) и угломестной (вертикальной) плоскостях согласно (11) и (12) определяются существенно проще:

$$\Delta x = \Delta\beta \cdot r_y = \frac{4r_y \Delta r_+}{d \sin \beta \cos \varepsilon}, \quad (15)$$

$$\Delta z = \Delta \epsilon \cdot r_u = \frac{4r_u \Delta r_+}{d \sin \epsilon \cos \beta} \quad (16)$$

Разрешение по горизонтали Δx оказывается наилучшим (наименьшим) при ориентации базы перпендикулярно направлению на цель из приемного пункта ($\beta = \pi/2$) (рис. 2)

$$\Delta x = \Delta \beta r_u = \frac{4r_u \Delta r_+}{d \cos \epsilon} \quad (17)$$

причем с увеличением высоты цели $H_u \rightarrow r_u$ разрешение по горизонтали ухудшается, поскольку

$$\cos \epsilon = \sqrt{1 - H_u / r_u^2} \quad (18)$$

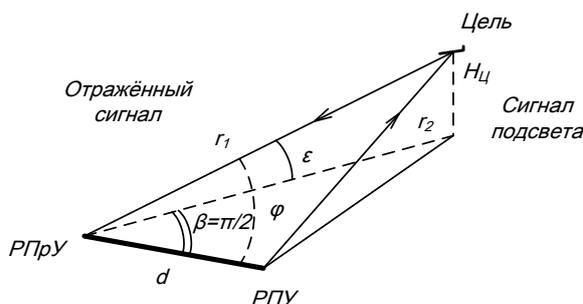


Рис. 2. Полуактивная бистатическая РЛС для наилучшего разрешения целей по горизонтали

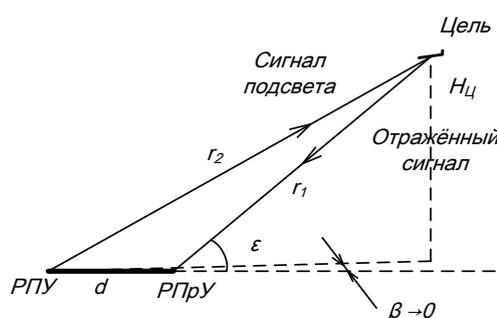


Рис. 3. Полуактивная бистатическая РЛС для наилучшего разрешения целей по вертикали

Разрешение по вертикали Δz оказывается наилучшим (наименьшим) при ориентации базы в направлении на цель ($\beta = 0$) (рис. 3):

$$\Delta z = \Delta \epsilon r_u = \frac{4r_u \Delta r_+}{d \sin \epsilon} \quad (19)$$

причем с увеличением высоты цели $H_u \rightarrow r_u$ разрешение по вертикали улучшается, поскольку

$$\sin \epsilon = H_u / r_u$$

При многопозиционном построении РЛС всегда можно выбрать одну базу, примерно ориентированную на цель, а другую, ориентированную в перпендикулярном направлении.

Например, при разрешающей способности по суммарной дальности $\Delta r_+ = 30$ м, что соответствует ширине спектра сигнала подсвета $\Delta f_o = 10$ МГц, десятикратном отношении дальности до цели к базе $r_u/d = 10$, угле места цели $\epsilon_u = 30^\circ$ разрешения по горизонтали и вертикали соответственно равны: $\Delta x = 1380$ м, $\Delta z = 2400$ м.

Пассивная бистатическая РЛС (рис. 1,б). Учитывая, что разность дальностей r_1 и r_2 , как правило, значительно меньше базы $r_- = r_1 - r_2 \ll d$, угловое и линейное разрешения в азимутной (горизонтальной) и угломестной (вертикальной) плоскостях согласно (13) и (14) определяются существенно проще:

$$\Delta x = \Delta \beta \cdot r_u = \frac{4r_u \Delta r_- \cos^2 \beta}{d \sin \beta} \cos \epsilon \quad (19)$$

$$\Delta z = \Delta \epsilon \cdot r_u = \frac{4r_u \Delta r_- \cos^2 \epsilon}{d \sin \epsilon} \cos \beta \quad (20)$$

Разрешение по горизонтали Δx согласно (19) оказывается наилучшим (наименьшим) при ориентации базы перпендикулярно направлению на цель из первого пункта приема ($\beta=\pi/2$) (рис. 4), причем в ограниченном секторе ΔB , определяемом множителем $F(\beta)=\cos^2\beta/\sin\beta$, вид которого показан на рис. 5. Разрешение по горизонтали оказывается не хуже (не больше) требуемого $\Delta x_{\text{треб}}$, если множитель $F(\beta)$ не превышает допустимое значение:

$$F_{\text{доп}}(\beta) = \frac{\Delta x_{\text{треб}} d}{4r_y \Delta r_- \cos \varepsilon}. \quad (21)$$

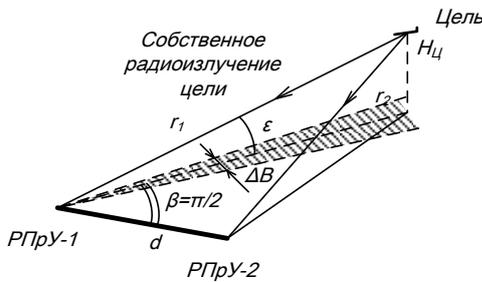


Рис. 4. Пассивная бистатическая РЛС для наилучшего разрешения целей по горизонтали

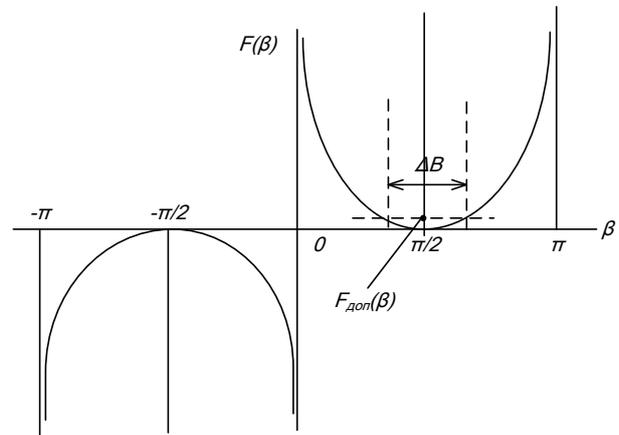


Рис. 5. Вид функции $F(\beta)$

Например, при $\Delta x_{\text{треб}}=1000$ м, $r_y/d=100$, $\Delta r_-=30$ м (соответствует ширине спектра собственного радиоизлучения цели $\Delta f_o=10$ МГц), угле места цели $\varepsilon_y=30^\circ$, допустимое значение искомого множителя $F_{\text{доп}}(\beta)\leq 0,096$, что соответствует сектору $\Delta B\leq 36^\circ$.

На рис. 6 показаны угловые секторы радиолокационного наблюдения целей с требуемым разрешением по горизонтали при трехбазовом (четырёхпозиционном) построении пассивной МП РЛС.

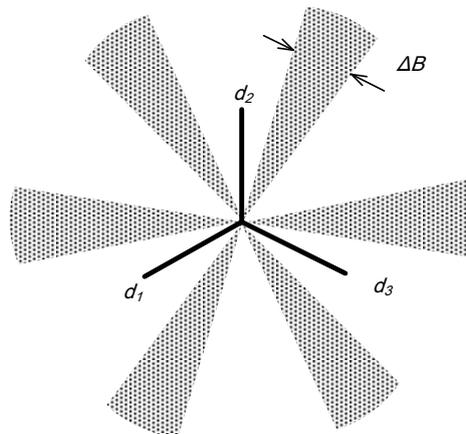


Рис. 6. Угловые секторы требуемого разрешения целей по горизонтали при трехбазовом построении пассивной МП РЛС

С увеличением высоты цели $H_y \rightarrow r_y$ угол места стремится к 90° , косинус угла места уменьшается ($\cos \varepsilon \rightarrow 0$), множитель $F_{\text{доп}}(\beta)$, согласно (21), увеличивается, сектор ΔB , согласно рис. 5, расширяется до 180° , т.е. зона заданного разрешения по горизонтали расширяется до полусферы.

Аналогично, разрешение по вертикали Δz , согласно (20), оказывается наилучшим (наименьшим) при углах места цели, близких к 90° (цель в зените) (рис. 7), причем в ограниченном секторе ΔE , определяемом множителем $F(\varepsilon)=\cos^2\varepsilon/\sin\varepsilon$, поведение которого аналогично $F(\beta)$ на рис. 5. Разрешение по вертикали оказывается не хуже (не больше) требуемого $\Delta z_{\text{треб}}$, если множитель $F(\varepsilon)$ не превышает допустимое значение:

$$F_{\text{доп}} \varepsilon = \frac{\Delta z_{\text{треб}} \cdot d}{4r_{\text{ц}} \Delta r_{\text{ц}} \cos\beta} \quad (22)$$

Например, при $\Delta z_{\text{треб}}=1500$ м, $r_{\text{ц}}/d=100$, $\Delta r_{\text{ц}}=30$ м (соответствует ширине спектра собственного радиоизлучения цели $\Delta f_o=10$ МГц), азимуте цели относительно базы $\beta=0$ допустимое значение искомого множителя $F_{\text{доп}}(\varepsilon)\leq 0,125$, что соответствует сектору $\Delta E\leq 40^\circ$.

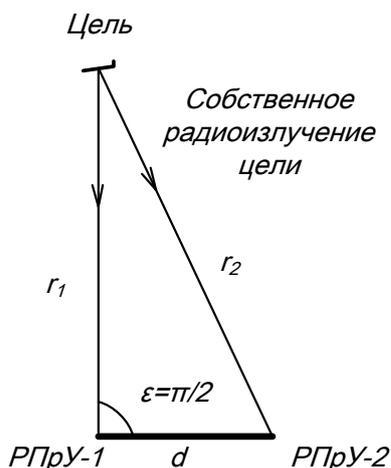


Рис. 7. Пассивная бистатическая РЛС для наилучшего разрешения целей по вертикали

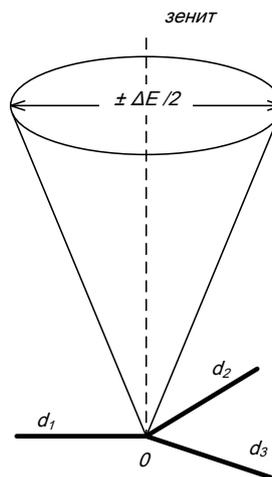


Рис. 8. Угловой сектор требуемого разрешения целей по вертикали пассивной МП РЛС

Следует заметить, что при положениях цели, близких к зениту, ее ориентация в горизонтальной плоскости относительно базы соответствует значению β близкому к нулю ($\beta\rightarrow 0$). Поэтому угловой сектор требуемого разрешения целей по вертикали в области зенита представляется конусом с углом между образующими $\pm\Delta E/2$ (рис. 8).

THE ANGLE SEPARATION OF TARGETS IN MULTIPLE POSITION RADAR SYSTEMS

A.E. OKHRIMENKO

Abstract

It is described the transformation separation capability on distance in angle or linear separation in horizontal or vertical plains for multiple position radar systems.

Литература

1. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М., 1993.
2. Охрименко А.Е. Основы обработки и передачи информации. Минск, 1990.