

Радиолокационные и радионавигационные системы

УДК 621.396.962.38: 621.396.969.32

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РСА ЗЕМЛЕОБЗОРА

ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХПОЗИЦИОННОГО РЕЖИМА ИХ РАБОТЫ

Воронцова Светлана Анатольевна

инженер кафедры радиотехники ФГФОРУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва».

E-mail: cbeta116@mail.ru.

Адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

Аннотация: Исследование посвящено анализу влияния взаимного расположения носителей двухпозиционной радиолокационной станции (передатчика и приёмника) и просматриваемого участка земной поверхности на разрешающую способность по поперечной дальности. Для проведения исследования был разработан алгоритм расчёта потенциальной разрешающей способности по поперечной дальности. Алгоритм основан на уравнениях линий равных дальностей, параметрами которых являются: база, разность высот передатчика и приёмника, высота системы. По алгоритму построены графики зависимостей величины элемента разрешения по поперечной дальности от поперечной дальности просматриваемого участка земной поверхности. Графики показывают, как влияет изменение параметров взаимного расположения передатчика, приёмника и просматриваемого участка местности на величину разрешающей способности по поперечной дальности. Результаты исследования позволяют улучшить разрешающую способность по поперечной дальности, что приведёт к улучшению характеристик обнаружения и повышению точности определения координат цели.

Ключевые слова: поверхность Земли, разрешающая способность по поперечной дальности, элемент разрешения под летательным аппаратом, двухпозиционная радиолокационная станция, взаимное расположение передатчика и приёмника, база, линия равных дальностей.

Введение

Известно, что радиолокационные станции бокового обзора с синтезированной апертурой (РСА) позволяют существенно улучшить разрешающую способность по продольной дальности за счёт искусственно создаваемой антенной решётки достаточно большого размера [1–5]. Однако, синтезирование апертуры никак не сказывается на разрешающей способности (разрешении) РСА по поперечной дальности. Величина элемента разрешения (δD_n) по поперечной дальности [6, 7], как и для традиционной радиолокационной станции (РЛС), определяется длительностью излучаемых импульсов (τ_u) и углом визирования (β), который зависит от дальности выноса (D_n) полосы обзора и высоты (H) РЛС (рис. 1).

Элемент разрешения (δD_n) по поперечной дальности для однопозиционной РЛС формируется как линия пересечения земной поверхности и кольца, ограниченного двумя окружностями (линиями равных дальностей) с центром в точке расположения РЛС (рис. 1, рис. 2). Линии равных дальностей отстоят друг от друга на $0,5 \cdot c \cdot \tau_u$. Здесь c – скорость света.

С уменьшением дальности выноса D_n (рис. 1) просматриваемой полосы земной поверхности при фиксированной высоте полёта (H) РЛС величина элемента разрешения δD_n увеличивается, то есть разрешающая способность по поперечной дальности ухудшается и непосредственно под летательным аппаратом (ЛА) становится неприемлемой для наблюдения участка местности. К тому же, как видно из рис. 2, разрешающая способность по поперечной

дальности ухудшается и с увеличением высоты полёта однопозиционной РЛС. Возникает проблема обеспечения приемлемой разрешающей способности по поперечной дальности в случаях, когда требуется проводить обзор земной поверхности непосредственно под ЛА, например, при совместном применении аэрофотосъёмки и радиолокационного наблюдения местности.

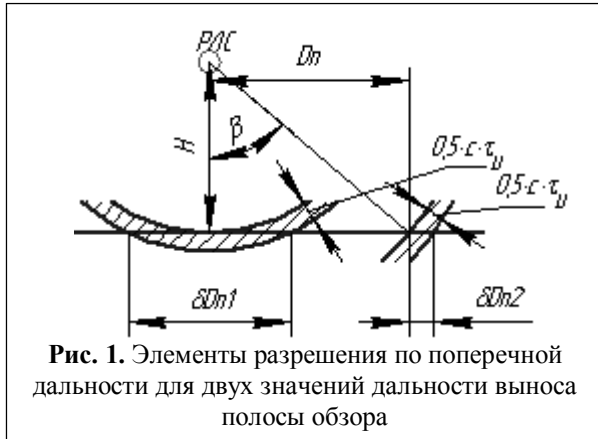


Рис. 1. Элементы разрешения по поперечной дальности для двух значений дальности выноса полосы обзора

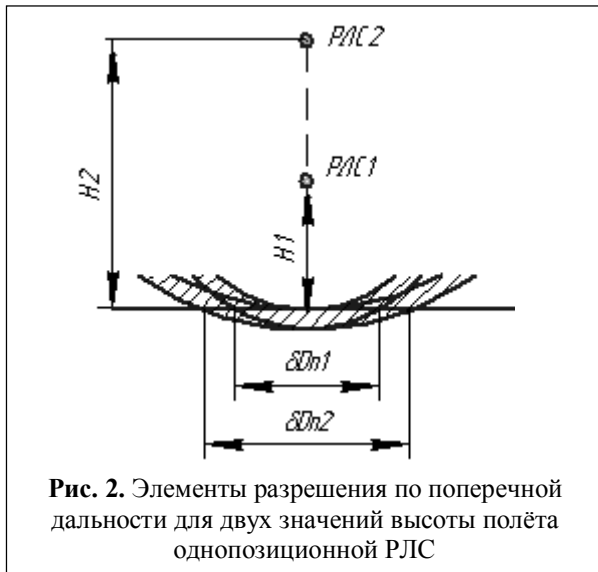


Рис. 2. Элементы разрешения по поперечной дальности для двух значений высоты полёта однопозиционной РЛС

Предлагается улучшить разрешающую способность РСА по поперечной дальности за счёт применения двухпозиционного режима. Методы улучшения разрешающей способности двухпозиционной радиолокационной станции (ДПРЛС) по углу подробно изложены в [8, 9], поэтому целью работы является поиск путей улучшения разрешающей способности РЛС по поперечной дальности, основанный на анализе влияния взаимного расположения передатчика,

приёмника ДПРЛС и просматриваемого участка местности на величину элемента разрешения по поперечной дальности.

На рис. 3 представлены варианты конфигурации ДПРЛС и линии равных дальностей, представляющие собой принадлежащие картинной плоскости эллипсы, в фокусах которых располагаются передатчик (Т) и приёмник (R). Рис. 3 иллюстрирует, что величина элемента разрешения δD_n по поперечной дальности на поверхности Земли под носителем приёмника зависит от «геометрии» ДПРЛС. Видно, что при преобладании высоты приёмника над высотой передатчика величина элемента разрешения меньше, то есть разрешающая способность выше, чем в противоположном случае, поэтому проанализируем этот вариант взаимного расположения носителей приёмника и передатчика ДПРЛС.

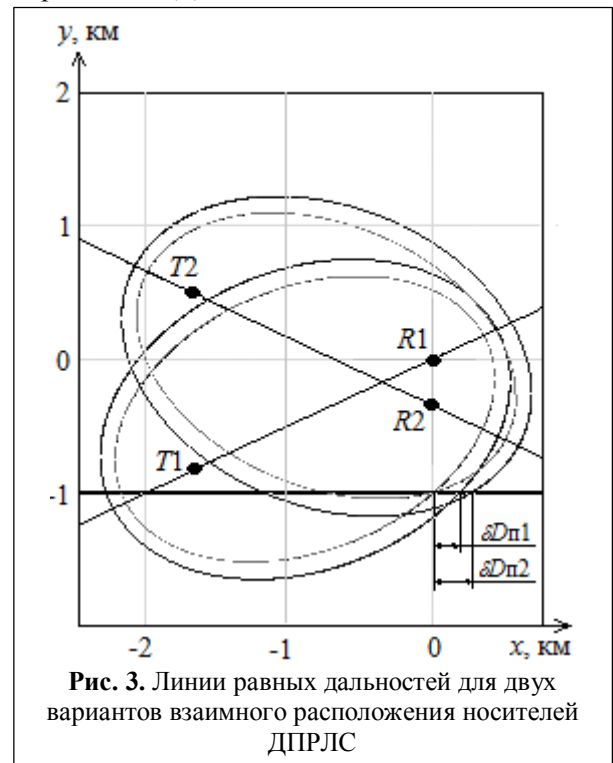


Рис. 3. Линии равных дальностей для двух вариантов взаимного расположения носителей ДПРЛС

Алгоритм расчёта потенциальной разрешающей способности по поперечной дальности

Пусть носители передатчика (Т) и приёмника (R) ДПРЛС совершают полёт по параллельным траекториям с одинаковыми скоростями в

направлении, перпендикулярном картинной плоскости, и параллельно плоскости просматриваемого участка земной поверхности (рис. 4). Поскольку вся обработка информации о наземных целях ведётся на борту приёмника, введём систему отсчёта \overline{OXY} с началом координат $\overline{O}(x_0; y_0)$ в точке расположения носителя приёмника (R). Горизонтальная ось этой системы параллельна земной поверхности и перпендикулярна направлению движения носителей РЛС (рис. 4). Тогда уравнение линии равных дальностей [7, 10], то есть эллипса, принадлежащего плоскости, параллельной картинной, в фокусах которого располагаются передатчик (T) и приёмник (R), в системе координат \overline{OXY} будет иметь вид [11]:

$$\frac{[x_0 + \bar{x} \cdot \cos \theta + \bar{y} \cdot \sin \theta]^2}{a^2} + \frac{[-\bar{x} \cdot \sin \theta + \bar{y} \cdot \cos \theta]^2}{b^2} = 1, \quad (1)$$

где $x_0 = B/2$ – смещение начала координат системы отсчёта \overline{OXY} по отношению к началу координат системы OXY (рис. 4); B – база ДПРЛС (расстояние между передатчиком и приёмником); θ – угол поворота координатных осей по часовой стрелке по отношению к их положению в системе отсчёта OXY (рис. 4); a – большая полуось эллипса; b – малая полуось эллипса.

Для точек, лежащих на поверхности Земли и принадлежащих линии равных дальностей, $\bar{y} = -H_R$ и $\bar{x} = D_n$, где H_R – высота приёмника; D_n – поперечная дальность от места положения приёмника до точки пересечения линии равных дальностей и поверхности Земли, то есть до точки A или до точки B (рис. 4).

Разрешающая способность δD_n по поперечной дальности определяется разностью поперечных дальностей от места расположения приёмника до точки B и до точки A. При этом линия равных дальностей, на которой лежит

точка B, соответствует большей суммарной дальности от передатчика и от приёмника до точки B, чем до точки A, на величину расстояния, проходимого сигналом за время длительности импульса τ_u , то есть на $0,5 \cdot c \cdot \tau_u$, где c – скорость света. Тогда алгоритм расчёта потенциальной разрешающей способности δD_n по поперечной дальности как функции, зависящей от поперечной дальности и параметров «геометрии» системы, должен быть следующим.

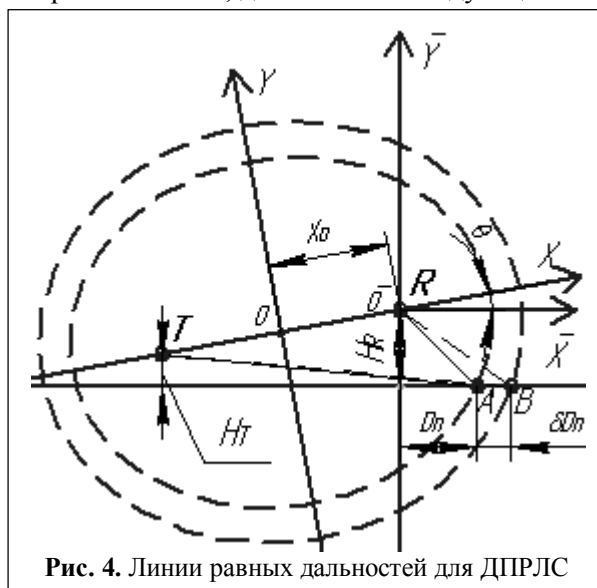


Рис. 4. Линии равных дальностей для ДПРЛС

1. Задать значения параметров «геометрии» системы (базы (B); разности высот приёмника и передатчика ($\delta H = (H_R - H_T) < B$); высоты полёта системы ($H_{сум.} = H_R$)) и длительности импульса (τ_u).

2. Вычислить значение высоты передатчика H_T по формуле:

$$H_T = H_R - \delta H.$$

3. Задать границы диапазона поперечных дальностей для точки A, то есть D_{nAmin} и D_{nAmax} .

4. Задать величину приращения поперечной дальности (ΔD_{nA}).

5. Задать поперечную дальность:

$$D_{nA} = D_{nAmin} + n \cdot \Delta D_{nA},$$

где n – количество выполнений алгоритма до текущего.

6. Вычислить расстояние, проходимое сигналом, от передатчика (T) до точки A:

$$D_{TA} = \sqrt{H_T^2 + (\sqrt{B^2 - (H_R - H_T)^2 + D_{nA}^2})^2}.$$

7. Вычислить расстояние, проходимое сигналом, от точки A до приёмника (R):

$$D_{RA} = \sqrt{H_R^2 + D_{nA}^2}.$$

8. Найти величину большой полуоси a эллипса, то есть линии равных дальностей, пересекающей земную поверхность в точке A :

$$a_A = \frac{D_{TA} + D_{RA}}{2}.$$

9. Найти величину большой полуоси a эллипса, пересекающего земную поверхность в точке B , прибавлением к a_A расстояния, проходимого сигналом за время $0,5 \cdot \tau_u$:

$$a_B = a_A + 0,5 \cdot c \cdot \tau_u,$$

где c – скорость света.

10. Найти величину малой полуоси b эллипса, пересекающего земную поверхность в точке A , из выражения:

$$b_A = \sqrt{a_A^2 - (B/2)^2}.$$

11. Найти величину малой полуоси b эллипса, пересекающего земную поверхность в точке B , из выражения:

$$b_B = \sqrt{a_B^2 - (B/2)^2}.$$

12. Определить величину угла поворота системы координат:

$$\theta = \arcsin[(H_R - H_T)/B].$$

13. Вычислить для точки A и точки B коэффициенты квадратного уравнения линий равных дальностей $a_1 \cdot D_n^2 + b_1 \cdot D_n + c = 0$, которое является равносильным уравнению (1), по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= b^2 \cdot \cos^2 \theta + a^2 \cdot \sin^2 \theta; \\ b_1 &= b^2 \cdot (B \cdot \cos \theta - H_R \cdot \sin 2\theta) + \\ &+ a^2 \cdot H_R \cdot \sin 2\theta; \\ c_1 &= \frac{b^2 \cdot B^2}{4} - b^2 \cdot B \cdot H_R \cdot \sin \theta + \\ &+ b^2 \cdot H_R^2 \cdot \sin^2 \theta + a^2 \cdot H_R^2 \cdot \cos^2 \theta - a^2 \cdot b^2. \end{aligned} \right\}$$

14. Вычислить значение поперечной дальности от начала координат (в точке располо-

жения приёмника) до точки A и до точки B по формуле:

$$D_n = \frac{-b_1 \pm \sqrt{b_1^2 - 4 \cdot a_1 \cdot c_1}}{2 \cdot a_1}.$$

15. Вычислить величину элемента разрешения как разность поперечных дальностей до точки B и до точки A :

$$\delta D_n = D_{nB} - D_{nA}.$$

16. Для построения графика зависимости $\delta D_n = f(D_{nA})$ повторно выполнять алгоритм, начиная с четвёртого пункта, до тех пор, пока выполняется условие:

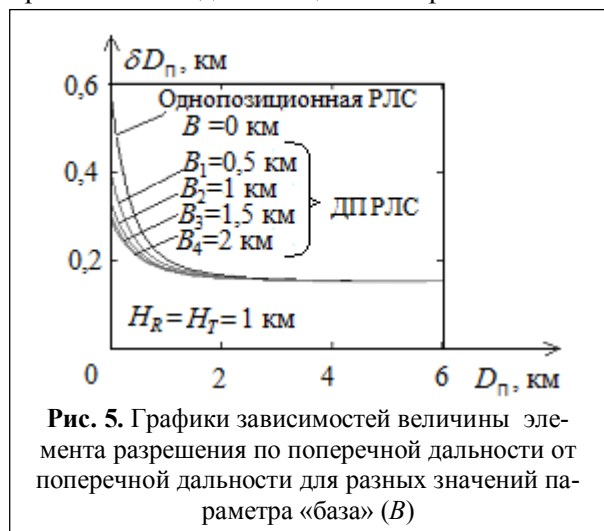
$$D_{nA} \leq D_{nA \max}.$$

Исследование влияния «геометрии» системы на разрешающую способность по поперечной дальности

Проведём анализ влияния на разрешающую способность по поперечной дальности следующих параметров взаимного расположения элементов ДПРЛС (носителя передатчика, носителя приёмника) и просматриваемого участка местности: а) базы B (расстояния между носителями передатчика и приёмника); б) разности высот приёмника и передатчика при фиксированных значениях базы и высоты приёмника; в) высоты системы при неизменных значениях базы и разности высот полёта носителей приёмника и передатчика. В качестве значения параметра «высота системы» примем значение высоты полёта носителя приёмника H_R . Для наглядности по разработанному алгоритму построены графики зависимостей величины элемента разрешения δD_n по поперечной дальности от поперечной дальности D_n для различных значений этих параметров.

Графики, изображённые на рис. 5 и на рис. 6, позволяют сделать вывод о том, что при одних и тех же значениях поперечной дальности величина элемента разрешения по поперечной дальности для случая однопозиционной РЛС по сравнению со случаем двухпозиционной принимает более высокое значение, которое соответствует более низкой разрешающей спо-

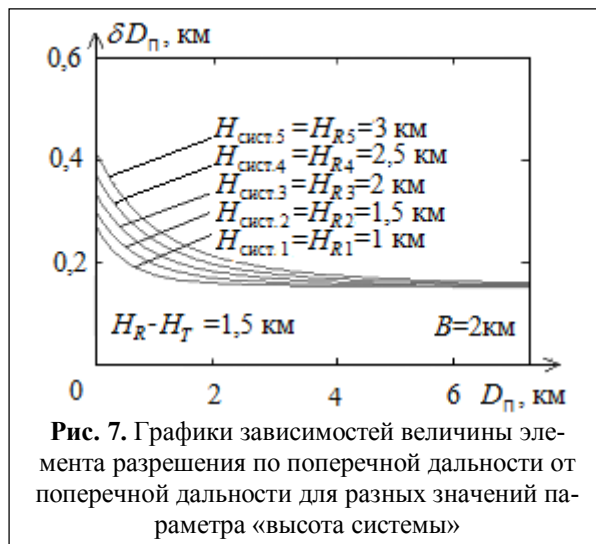
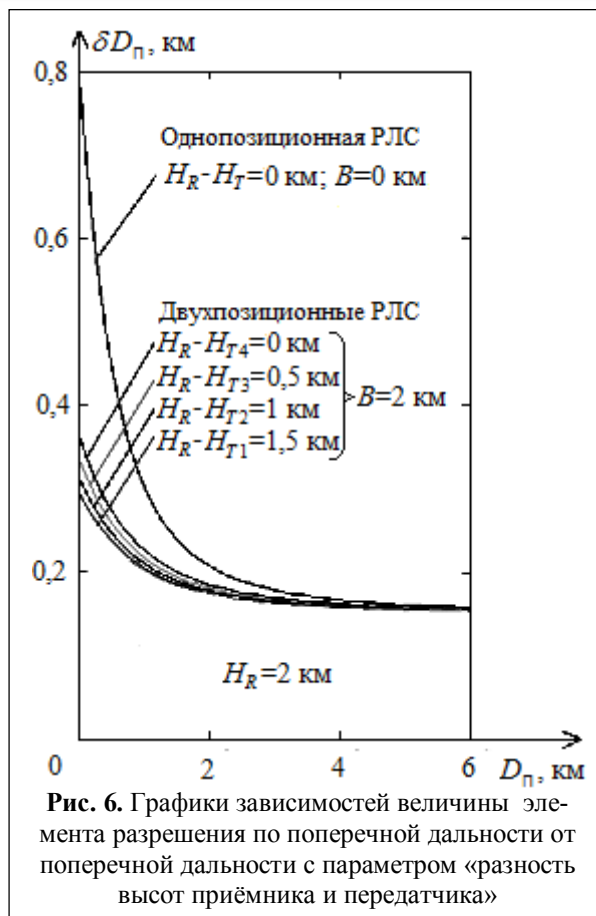
способности. Это подтверждает предположение о том, что применение двухпозиционного режима работы РЛС обеспечивает более высокую разрешающую способность по сравнению с применением однопозиционного режима.



Из графиков (рис. 5) следует, что при увеличении расстояния между носителями передатчика и приёмника (параметра «база») при двухпозиционном режиме работы РЛС величина элемента разрешения по поперечной дальности уменьшается, то есть разрешающая способность улучшается.

Графики (рис. 6) иллюстрируют уменьшение величины элемента разрешения по поперечной дальности (улучшение разрешающей способности по поперечной дальности) ДПРЛС при увеличении разности высот полёта носителей приёмника и передатчика при фиксированных значениях базы и высоты приёмника, то есть при уменьшении высоты полёта носителя передатчика по отношению к высоте полёта носителя приёмника.

Графики на рис. 7 показывают, что при уменьшении высоты системы, то есть одновременном уменьшении на одинаковую величину высот полёта носителей приёмника и передатчика, величина элемента разрешения по поперечной дальности уменьшается, что соответствует улучшению разрешающей способности. Здесь разность высот и база оставались фиксированными.



На графиках, изображённых на рис. 5, рис. 6 и рис. 7, величина элемента разрешения по поперечной дальности увеличивается при уменьшении поперечной дальности (дальности выноса) просматриваемого участка поверхности Земли и достигает наибольшего значения (наихудшая разрешающая способность) при $D_{\perp}=0$ км, то есть под носителем приёмника.

Заключение

На основе уравнений для линий равных дальностей ДПРЛС разработан алгоритм вычисления величины элемента разрешения по поперечной дальности для произвольно заданного значения поперечной дальности просматриваемого участка местности. Алгоритм позволяет провести анализ влияния на разрешающую способность по поперечной дальности следующих параметров взаимного расположения носителей приёмника и передатчика ДПРЛС: а) базы (расстояния между носителями передатчика и приёмника); б) разности высот полёта носителей приёмника и передатчика; в) высоты системы. В результате анализа выявлено, что к улучшению разрешающей способности приводит: а) увеличение базы; б) увеличение разности высот носителей приёмника и передатчика, при условии, что высота носителя приёмника больше высоты носителя передатчика; в) уменьшение высоты системы.

Выведенные формулы алгоритма описывают улучшение потенциальной разрешающей способности без учёта влияния условий работы реальной радиолокационной станции. Однако, их можно рассматривать как основу для следующего этапа исследования основных характеристик радиолокационных станций.

Зависимость разрешающей способности ДПРЛС от параметров взаимного расположения её составных элементов доказывает, что возможна оптимизация характеристик РЛС путем траекторного управления полетом носи-

телей передатчика и приемника, что особенно важно при просмотре местности непосредственно под ЛА.

Литература

1. Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.
2. Кондратенков Г. С. Радиолокационные станции обзора Земли. / Г. С. Кондратенков [и др.]. М.: Радио и связь, 1983. 272 с.
3. Верба В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. / В. С. Верба [и др.]. М.: Радиотехника, 2010. 675 с.
4. Бакулев П. А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
5. Антипов В. Н. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны. / В. Н. Антипов [и др.]. М.: Радио и связь, 1988. 304 с.
6. Григорин-Рябов В. В. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения). / В. В. Григорин-Рябов [и др.]. М.: Советское радио, 1970. 680 с.
7. Скольник М. И. Справочник по радиолокации. М.: Техносфера, 2014. Т. 2. 680 с.
8. Лёзин Ю. С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М.: Радио и связь, 1986. 280 с.
9. Меркулов В. И. Улучшение разрешающей способности двухпозиционной РЛС по углу путём траекторного управления наблюдением // Радиотехника. 2009. № 6. С. 141.
10. Дудник П. И., Ильчук А. Р., Татарский Б. Г. Многофункциональные радиолокационные системы. М.: Дрофа, 2007. 283 с.
11. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1978. 600 с.

Поступила 28 ноября 2016 г.

English

Performance enhancement of Radar Earth viewing due to application of two position mode operation

Svetlana Anatolyevna Vorontsova – Engineer of Radio Engineering Department Samara National Research University named after Academician S. P. Korolyov.

E-mail: cbeta116@mail.ru.

Address: 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia.

Abstract: Side-looking synthetic aperture radars (SAR) enable to improve significantly resolution capacity in longitudinal range due to artificially created antenna array of rather big size. However, an aperture synthesizing does not affect SAR resolution capacity in cross-section range in any way. As it is necessary in certain cases to view the ground surface directly under the air vehicle, for example, when jointly using aerial photography and radar supervision of the area, there is a problem of ensuring acceptable resolution capacity in cross-section

range. The research is dedicated to the analysis of the effect of relative positioning of two position radar carriers (the transmitter and the receiver) and viewed section of the area on the resolution capacity in cross-section range. The calculation algorithm of potential resolution capacity for cross-section range was developed for carrying out research. The algorithm is based on the equations of equal range lines the parameters of which are: base, difference of the receiver and transmitter altitudes, the system altitude. Dependence diagrams between element resolution value in cross-section range and cross-section range of the viewed area according algorithm are constructed. Diagrams show how parameters changing of carriers relative positioning of two-position radar and viewed area affect the value of resolution capacity in cross-section range. Research results enable to increase resolution capacity in cross-section range. The increase in resolution capacity in cross-section range will improve the detection performance and will increase the target localization accuracy.

Key words: earth surface, resolution capacity in cross-section range, resolution element under air vehicle, two-position radar, relative positioning of the transmitter and receiver, base, equal range line.

References

1. Kondratenkov G. S., Frolov A. Yu. Radiovision (Radar-tracking systems of remote Earth sensing). M.: Radiotekhnika, 2005. 368 p.
2. Kondratenkov G. S. Earth viewing radars. - G. S. Kondratenkov [and other colleagues]. M.: Radio i svyaz, 1983. 272 p.
3. Verba V. S. Space-based Earth viewing Radar systems. - V. S. Verba [and other colleagues]. M.: Radiotekhnika, 2010. 675 p.
4. Bakulev P. A. Radar systems. M.: Radiotekhnika, 2004. 320 p.
5. Antipov V. N. Radars with digital synthesizing antenna aperture. - V. N. Antipov [and other colleagues]. M.: Radio i svyaz, 1988. 304 p.
6. Grigorin-Ryabov V. V. Radar devices (theory and development principles). - V. V. Grigorin-Ryabov [and other colleagues]. M.: Sovetskoye radio, 1970. 680 p.
7. Skolnik M. I. Reference book on radar ranging. M.: Tekhnosfera, 2014. T. 2. 680 p.
8. Lyozin Yu. S. Introduction to the theory and equipment of radio engineering systems. M.: Radio i svyaz, 1986. 280 p.
9. Merkulov V. I. Improvement of angular resolution capacity of two-position radar via supervision trajectory management. - Radiotekhnika. 2009. No. 6. P.141.
10. Dudnik P. I. , Ilchuk A. R., Tatarskiy B. G. Multifunction radar systems. M.: Drofa, 2007. 283 p.
11. Korn G. The reference book on mathematics for scientists and engineers. M.: Nauka, 1978. 600 p.