

УДК 62-757.5

О.В. Батури¹, Е.А. Рябоконт¹, А.А. Олифиров²¹Харьковский университет Воздушных сил им. И. Кожедуба, Харьков²Национальная академия обороны Украины, Киев

ОСОБЕННОСТИ ПОДСВЕТА ПРОСТРАНСТВА ПРИ СВЕРХБЫСТРОМ СКАНИРОВАНИИ В ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ АНТЕННАХ

Применение в РЛС обнаружения малой дальности различных электронных и электронно-механических устройств управления диаграммой направленности антенны, в ряде случаев, не удовлетворяет возрастающим требованиям к скорости получения информации. При этом обзор пространства происходит достаточно медленно: последовательно как по дальности, так и угловым координатам. Между тем, известны и другие методы обзора, так при использовании сверхбыстрого сканирования выигрыш во времени обзора достигается не за счет увеличения мощности передатчика, а за счет определенным образом организованного подсвета пространства.

Ключевые слова: подсвет пространства, сверхбыстрое сканирование, осесимметричные антенны.

Введение

Постановка проблемы. Для получения полной информации о наличии и координатах объекта радиолокации необходимо, прежде всего, определенным способом осмотреть пространство. При этом следует стремиться к обзору, при котором при минимально затрачиваемой энергии, получается максимум информации в единицу времени. Вопрос построения оптимальных систем обзора является достаточно сложным, так как при любом виде обзора надо одновременно обеспечить: высокую разрешающую способность, энергетический потенциал, темп обзора, а также удовлетворить ряд других требований. Для каждого типа радиолокаторов эти требования имеют различный вес и, как правило, противоречивы [1].

Традиционно считается, что обзор пространства это единый неделимый процесс получения информации о цели. Анализ и классификацию видов обзора проводят опираясь на это утверждение. Для более подробного анализа процесс обзора можно условно разделить на два самостоятельных этапа.

Первый из них связан с передачей энергии к цели – это, по сути, подсвет пространства. На этом этапе производится подсвет требуемой области пространства.

Второй этап связан с приемом отраженных от цели высокочастотных колебаний. Это осмотр пространства. Его, так же как и подсвет, можно осуществить параллельно, последовательно или комбинированным способом. Рассмотрим первый этап более подробно.

Максимально быстро осуществить подсвет можно параллельно, когда подсвет всей требуемой зоны происходит одновременно. Тогда общее время, затраченное на подсвет, ограничено временем, необходимым для подсвета целей на требуемой дальности. Например, для дальности $D=30\text{км}$ требуемое время подсвета составляет $t_{\text{треб}}=r/C=0,1\text{мс}$.

При этом время, затрачиваемое на обзор равно времени подсвета и осмотра одного углового направления по дальности умноженное на количество разрешаемых угловых направлений. Например, для обзора вкруговую, при ширине диаграммы направленности в азимутальной плоскости 1° и дальности $D=30\text{км}$, необходимо время равно

$$t_{\Sigma} = 2 \cdot n \cdot m \cdot r / C = 0,72 \text{ (с)},$$

$m=360/2\Delta\phi$ – количество угловых направлений, $n=10$ – количество импульсов в пачке. При этом считается, что другим, несколько менее радикальным, способом сокращения времени подсвета является применение сверхбыстрого сканирования (СБС).

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время СБС применяется на практике при частотном сканировании. Другие способы СБС в линейных антеннах рассматривались в [2 – 4]. Так в работах Гомозова В.И., Замятина В.И. и Лебедева А.Н. исследовались пространственно-частотные характеристики антенн с пространственной модуляцией и предложены способы формирования сложных радиолокационных сигналов с высокой скоростью угловой модуляции. В работе [3] Гинзбург В.М. также рассматривала методы пространственно-временной модуляции зондирующих сигналов для формирования и обработки изображения. При этом во всех работах, рассмотрение проводилось на примере линейных антенных решеток.

Целью статьи является определение условий подсвета пространства при сверхбыстром сканировании в осесимметричных антеннах для осуществления обзора пространства и процесса получения информации о цели.

Изложение основного материала

Проведем анализ СБС в осесимметричных антеннах на примере двумерной кольцевой антенны,

сканирование в которой осуществляется в азимутальной плоскости. Для этого рассмотрим движение ДН в пространстве при СБС в осесимметричной антенной решетке. Ради простоты и наглядности далее будем считать, что сканирование ДН будет осуществляться вкруговую, в горизонтальной плоскости и в качестве модели антенны используем кольцевую (двумерную) антенную решетку (КАР), одноканальную, работающую на передачу.

Пусть осесимметричная (кольцевая) антенная решетка радиуса R , формирует узкую ДН, осуществляющую в простейшем случае равномерное сканирование по кругу. При дальнейшем рассмотрении примем кольцевую антенную решетку за точку, т.к. рассмотрение проводим для дальней зоны антенны,

когда расстояние до точки наблюдения $r > \frac{2R^2}{\lambda}$, где R – радиус КАР.

$$R \ll r_{дз} = \frac{2R^2}{\lambda}. \quad (1)$$

Рассмотрим как происходит подсвет области пространства при СБС на передачу. При равномерном вращении ДН передающей антенны вокруг точки O (рис. 1) с угловой скоростью Ω , одновременно происходит распространение электромагнитной волны, со скоростью света вдоль радиальной оси.

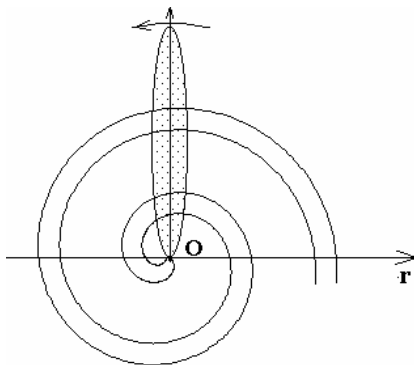


Рис. 1. Формирование пространственной структуры сигнала в виде архимедовой спирали

В результате того, что ДН сканирует вкруговую за время соизмеримое со временем распространения волны до границы зоны обнаружения, в пространстве образуется “освещенный” слой в виде архимедовой спирали: $r = k \cdot \varphi$, где $k = \frac{a}{2\pi}$ – параметр архимедовой спирали; a – шаг спирали.

После каждого оборота, во всех угловых направлениях будет распространяться электромагнитная волна, дальность распространения которой за время сканирования можно определить по формуле

$r = \frac{C}{\Omega} \cdot \varphi$, где Ω – угловая скорость сканирования ДН, а φ – угол сканирования.

В общем случае, распространение электромагнитной волны происходит не только в течение времени сканирования, а и после прекращения сканирования ДН. Таким образом, зависимость дальности от времени можно определить, условно разделив время на два интервала: первый – от момента начала излучения и сканирования, до момента прекращения сканирования, второй – от момента прекращения сканирования и далее. Это можно представить следующим образом:

$$r = C \cdot t = \begin{cases} \frac{C}{\Omega} \cdot \varphi & \text{при } 0 \leq t < \tau_{изл\ сбс}; \\ \frac{C}{\Omega} \cdot \varphi + C(t - \tau_{изл\ сбс}) & \text{при } t \geq \tau_{изл\ сбс}. \end{cases}$$

В случае, когда $t \geq \tau_{изл\ сбс}$, дальность подсвета равна сумме дальности r_0 , (на которую распространилась электромагнитная волна при осуществлении СБС, т.е. во время излучения импульса) и дальности, на которую распространилась электромагнитная волна после прекращения излучения импульса.

Соответственно, в каждом угловом направлении распространяются импульсы, период повторения которых не меньше одного оборота ДН

$T_{СБС} = \frac{2\pi}{\Omega}$, а длительность их $\tau_{обл}$ зависит от скорости сканирования ДН и равна времени прохождения луча ДН через выбранное угловое направление

$\tau_{обл} = \frac{2\Delta\varphi_{0,5p}}{\Omega}$ (рис. 2).

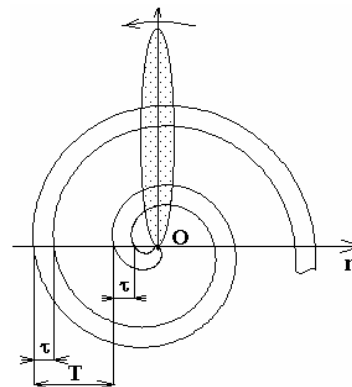


Рис. 2. К определению параметров пространственной структуры

При сканировании с постоянной скоростью вкруговую, для подсвета дальности r_0 во всем секторе обзора (до 360°), необходимо время равное двум оборотам луча ДН (рис. 3).

Это связано с тем, что для формирования вращающегося луча ДН, с момента начала сканирования, будут запитываться поочередно все излучающие элементы КАР и разница во времени начала излучения первого излучающего элемента и последнего, будет равна времени сканирования луча ДН вкруговую.

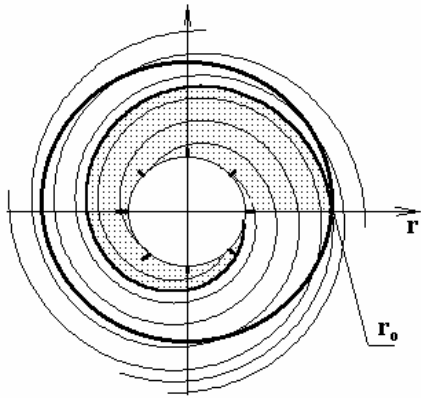


Рис. 3. Подсвет определенной дальности в секторе обзора (до 360°).

Возникает ситуация, при которой в некоторых угловых направлениях электромагнитная волна распространилась на расстояния равные $r = C \cdot \tau_{\text{изл}}$, где $\tau_{\text{изл}}$ – время, прошедшее от момента начала излучения в данном угловом направлении, а в некоторых направлениях излучение еще не началось.

Для наглядности анализа процесса СБС в круговую можно использовать график зависимости дальности до точек подсвета пространства от времени (рис. 4) для фиксированного значения скорости сканирования.

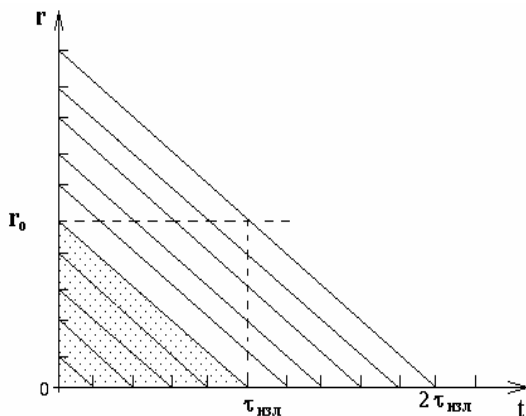


Рис.4. График зависимости дальности до точек подсвета пространства от времени

При изменении скорости будет меняться и зависимость дальности распространения от углового положения ДН. Из рис. 4. видно, что для того, чтобы электромагнитная энергия распространялась на требуемое расстояние r_{max} во всем секторе сканирования необходимо время равное времени двух оборотов ДН, т.е. $T_{\text{обз}} = 2 \cdot \tau_{\text{изл}}$, при условии непрерывного сканирования с постоянной скоростью.

Рассмотрение СБС в осесимметричных антенных решетках на примере равномерного сканирования луча ДН в круговую позволяет осветить некоторые вопросы общей теории СБС в КАР [6, 7], но не в полной мере раскрывает его возможности.

Так, остается не рассмотренным ряд вопросов, связанных со случаем, когда сканирование ДН в осесимметричных антенных решетках неравномерное. В кольцевой двумерной антенной решетке неравномерное сканирование может быть связано с изменяющейся во времени скоростью сканирования, с изменяющимся во времени направлением сканирования или с двумя этими факторами вместе: изменяющейся во времени скоростью сканирования и направлением сканирования.

Первым рассмотрим случай с изменяющейся во времени скоростью сканирования Ω . Изменение скорости сканирования луча ДН в КАР с СБС влечет за собой изменение некоторых параметров рассматриваемой антенной системы. Так согласно выраже-

$$\tau_{\text{отр}} = \frac{2\Delta\varphi_{0,5p}}{\Omega},$$

время, в течение которого

облучается цель при СБС, соответственно и длительность отраженного от цели импульса, зависит от скорости сканирования, и чем она больше, тем меньше времени цель находится в луче ДН. Это приводит к изменению разрешающей способности по дальности. Изменение длительности отраженного от цели импульса, в свою очередь, ведет к изменению энергетических характеристик. Так

$$W = n \cdot P_p \cdot \tau_{2\Delta\varphi_{0,5p}}, \quad \text{где} \quad \tau_{2\Delta\varphi_{0,5p}} = \frac{\tau_{\text{изл сбс}}}{k} = \tau_{\text{отр}},$$

энергия сигнала зависит от времени пребывания цели в луче ДН.

Во втором случае изменяется во времени направление сканирования, т.е. сканирование луча ДН в заданном секторе происходит по какому-либо заданному закону (рис. 5).

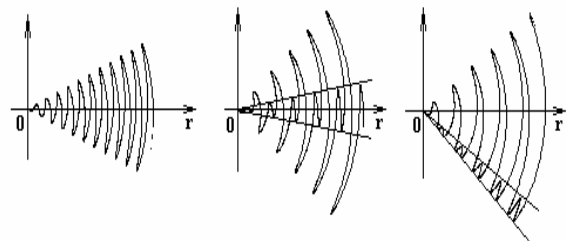


Рис. 5. СБС в КАР с изменяющимся направлением

Из рис. 5. видно, что задавая требуемый закон сканирования можно освещать заданный сектор обзора с различной интенсивностью, т.е. в определенные угловые направления можно посылать различное число импульсов, что позволяет варьировать энергией, излучаемой в этих направлениях.

Рассмотрим пример. Для обнаружения цели на дальности r_{max} необходимо принять пачку из n_{max} импульсов. При предлагаемом способе сканирования будет принята когерентная пачка с прямоугольной огибающей. Согласно уравнению радиолокации – энергия принятого сигнала обратно пропорциональна

четвертой степени расстояния до цели,

$$r_{\max} = \sqrt[4]{\frac{W_u}{W_{\text{пр min}}} \cdot \frac{G(\beta, \varepsilon) \cdot A(\beta, \varepsilon)}{(4\pi)^2}},$$

где $G(\beta, \varepsilon)$ – коэффициент усиления антенны; $A(\beta, \varepsilon)$ – эффективная площадь приемной антенны; W_u – энергия входных сигналов; $W_{\text{пр min}}$ – пороговое значение принимаемой энергии.

Таким образом, при уменьшении дальности до цели, для обнаружения цели можно применять уже не n_{\max} импульсов, а n – число которых можно найти из выражения:

$$n = \left(\frac{r_{\max} - p \cdot \delta r}{r_{\max}} \right)^4 \cdot n_{\max},$$

где p – количество объемов разрешения по дальности.

Рассмотрим пример. Примем дальность обнаружения РЛС – $r_{\max} = 30$ км, $\delta r = 150$ м, количество объемов разрешения по дальности $p = 200$, число импульсов, необходимых для обнаружения цели на дальности r_{\max} , равно $n_{\max} = 5$. Проведем оценку того, как изменяется количество импульсов, необходимых для обнаружения цели при уменьшении дальности между РЛС и целью (рис. 6).

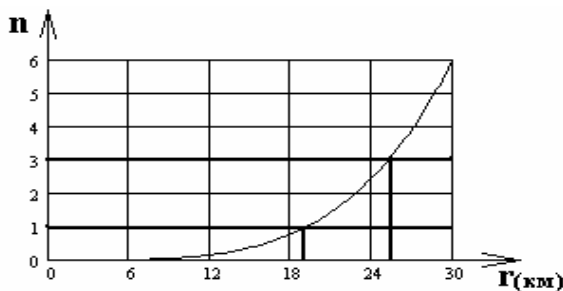


Рис. 6. График зависимости количества импульсов (n) от дальности

При заданных условиях, уже при нахождении цели на расстоянии 25,5 км, необходимо накопить в

два раза меньше импульсов, чем при обнаружении цели на дальности 30км, а одного импульса достаточно при расстоянии до цели 20км.

Выводы

Таким образом, при приближении цели к РЛС, темп обновления информации возрастает вдвое при сокращении расстояния между ними на 15%, а при сокращении расстояния на 34%, для обновления информации о цели хватает одного импульса или одного прохода луча ДН.

Это свойство особенно актуально в системах обзора малой дальности, т.к. при приближении целей возрастает и темп обновления информации о них, что необходимо при их высоких скоростях и маневренных возможностях.

Список литературы

1. Воскресенский Д.И. Радиооптические антенные решетки / Д.И. Воскресенский, А.Ю. Гринев, А.Е. Воронин. – М.: Радио и связь, 1986. – 240 с.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Гинзбург В.М. Формирование и обработка изображения в реальном времени. Методы быстрого сканирования / В.М. Гинзбург. – М.: Радио и связь, 1986. – 232 с.
4. Корстелев А.А. Пространственно-временная теория радиосистем: уч. пособ. для ВУЗов / А.А. Корстелев. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
5. Корниенко Л.Г. Теория и техника излучающих и направляющих систем / Л.Г. Корниенко. – Х.: ХВУ, 1994. – 616 с.
6. Zamyatin V.I. Space-time modulation of signals in a ring antenna array / V.I. Zamyatin, O.V. Baturin, E.A. Tolokneev // Proc. of 13th international Conf. Antenna theory and techniques – Sevastopol (Ukraine) – 1999. – P. 204-266.
7. Замятин В.И. Пространственно-временная модуляция сигналов кольцевой антенной решетки / В.И. Замятин, О.В. Батуриной, Э.А. Толокнеев // Весник ХГПУ. – Х., 2000. – Вып. 112. – С. 123-126.

Поступила в редколлегию 11.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, старший научный сотрудник В.В. Баранник, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ОСОБЛИВОСТІ ПІДСВІТУ ПРОСТОРУ ПРИ НАДШВИДКОМ СКАНУВАННІ В ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ АНТЕНАХ

О.В. Батурін, Є.О. Рябоконь, О.О. Оліфіров

Застосування в РЛС виявлення малої дальності різних електронних і електронно-механічних пристроїв керування діаграмою спрямованості антени, у ряді випадків, не задовольняє зростаючим вимогам до швидкості одержання інформації. При цьому огляд простору відбувається досить повільно: послідовно як по дальності, так і кутовим координатам. Тим часом, відомі й інші методи огляду, так при використанні надшвидкого сканування виграш у часі огляду досягається не за рахунок збільшення потужності передавача, а за рахунок певним чином організованого підсвіту простору.

Ключеві слова: підсвітло простору, надшвидке сканування, осесиметричні антени.

FEATURES OF SPACE SUBLIGHT AT ULTRAFAST SCAN-OUT IN AXISYMMETRICAL AERIALS

O.V. Baturin, E.O. Riabokon, O.O. Olifirov

Application in RLS, in a number of cases, dissatisfies finding out shorter-range of different electronic and electronic-mechanical control the diagram of orientation of aerial units increasing requirements to speed of receipt of information. Thus a space review takes place sufficiently slow: consistently both on distance and to the angular co-ordinates. Meantime, other methods of review are known, so at the use of ultrafast scan-out winning in time of review is arrived at not due to increasing power transmitter, but for the account of the definitely organized sublight of space

Keywords: space sublight, ultra-fast scanning, axisymmetric aerials.