

УДК 621.396.96

ЗАДАНИЕ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕРМИНАХ ШУМОВ КООРДИНАТ

В.В. Артюшенко, А.В. Киселев, М.А. Степанов

Новосибирский государственный технический университет

Рассмотрено задание отражающих свойств поверхностно распределенных объектов через параметры распределения шумов координат. При этом поверхность отражающего объекта представляется в виде совокупности взаимно неперекрывающихся фрагментов, каждый из которых замещается простейшей моделью. Предложены геометрические модели, которые могут быть использованы для замещения фрагментов поверхности. Для каждой модели получены выражения, позволяющие определить параметры распределения шумов координат при заданных мощностях излучателей модели и расстояниях между ними. Получены выражения, позволяющие синтезировать модели с требуемыми параметрами распределения шумов координат. Показано, что по параметрам распределения шумов координат отдельных участков поверхности можно определить соответствующие параметры всего объекта в целом. Полученные результаты могут быть использованы для синтеза математических моделей, применяемых при имитации отражений от распределенных объектов и при создании программно-аппаратных комплексов имитации электромагнитных полей, отраженных от поверхности земли, атмосферных неоднородностей, поверхности моря и др.

Ключевые слова: поверхностно распределенный объект, имитация отражений, шумы координат, геометрическая модель, кажущийся центр излучения.

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-3-17-28

Введение

Рост требований к точности решения большинства задач ближней радиолокации и точности самих радиолокационных измерителей приводит к тому, что при их создании и испытании все более актуальной становится задача моделирования отражений от распределенных объектов с учетом их шумов координат (например, земной поверхности, морской поверхности, атмосферных неоднородностей и др.) [1, 2]. Под шумами координат (ШК) понимается следующее явление. При отражении от распределенного объекта нормаль к фазовому фронту суммарной электромагнитной волны, создаваемой на апертуре приемной антенны всеми точечными рассеивателями, совокупностью которых можно представить этот объект, указывает на положение так называемого кажущегося центра излучения (КЦИ). Поскольку число точечных рассеивателей велико, а их расположение в пространстве и величина вклада в общий отраженный сигнал являются случайными, то положение КЦИ флуктуирует случайным образом относительно некоторого значения (также употребляется термин «блуждание» КЦИ). Эти флуктуации и носят название шумов координат (также – угловых шумов) [3–4].

Описание статистических характеристик ШК протяженных объектов приводится в работах ряда отечественных и зарубежных авторов [4–8]. Плотность распределения вероятностей (ПРВ) мгновенного значения положения КЦИ описывается выражением

$$W(\Delta\gamma) = \frac{\mu_\gamma}{2(1 + \mu_\gamma^2 \Delta\gamma^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

где $\Delta\gamma = \gamma - m_\gamma$ – мгновенное значение отклонения КЦИ по некоторой обобщенной координате γ от математического ожидания m_γ ; μ_γ – параметр, определяющий эффективную «ширину» распределения. Таким образом, ПРВ определяется двумя параметрами – m_γ , μ_γ .

Вполне очевидно, что для моделирования отраженных электромагнитных полей отражающие свойства поверхностно распределенных объектов целесообразно задавать в терминах ШК, т. е. через параметры ПРВ (1). По сути, через m_γ и μ_γ , значения которых изменяются по поверхности объекта.

Рассмотрим возможность задания отражающих свойств через представление поверхности объекта в виде совокупности простейших геометрических моделей. При этом модели должны адекватно замещать участки поверхности объекта, которые не перекрываются и накрывают всю эту поверхность. Такой подход к заданию отражающих свойств распределенных объектов хорошо согласуется с широко распространенным методом математического моделирования электромагнитных полей, основанном на использовании полигональных моделей объектов [2, 9–11]. Полигональная модель представляет поверхность объекта в виде конечной совокупности простейших плоских геометрических элементов (например, треугольников). При использовании рассматриваемого подхода каждый такой элемент будет замещаться геометрической моделью.

Цель работы: обосновать возможность представления двумерного распределенного объекта в виде совокупности простейших моделей.

1. Принцип декомпозиции

Для представления поверхности в виде совокупности моделей требуется доказать, что все модели элементарных фрагментов в совокупности позволяют имитировать отражение от распределенного объекта в целом. Для этого необходимо подтвердить, что при адекватном моделировании статистических характеристик ШК отдельных фрагментов достигается адекватное моделирование тех же характеристик для всего объекта в целом.

Разобьем поверхность двумерного распределенного объекта на совокупность N фрагментов с площадями S_i , $i = 1, 2, \dots, N$ (рис. 1). Форма и размеры фрагментов в общем случае произвольные.

Математическое ожидание ПРВ ШК распределенного объекта (1) определяется следующим соотношением [4]:

$$m_\gamma = \frac{\iiint_{y,x,z} y F_r(y, x, z) dx dy dz}{\iiint_{y,x,z} F_r(y, x, z) dx dy dz}, \quad (2)$$

где $F_r(y, x, z)$ – функция распределения плотности интенсивности отражений от объекта [4]; области интегрирования по x , y ограничены поверхностью отражающего объекта.

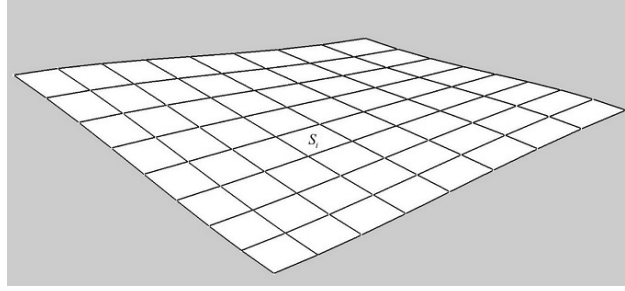


Рис. 1 – Декомпозиция сложного объекта

Fig. 1 – Decomposition of a complex object

Параметр μ_γ [4]:

$$\mu_\gamma^2 = \frac{\int \int \int_{y x z} F_r(y, x, z) dx dy dz}{\int \int \int_{y x z} (y - m_\gamma)^2 F_r(y, x, z) dx dy dz}. \quad (3)$$

Рассмотрим входящие в выражения (2), (3) составляющие по отдельности. Разбив область интегрирования на части, ограниченные размерами фрагментов, и учитывая, что рассматриваемый объект – поверхностно распределенный, придем к следующим соотношениям:

$$\int \int \int_{y x z} F_r(y, x, z) dx dy dz = \sum_{i=1}^N \iint_{S_i} F_r(y, x) dy dx; \quad (4)$$

$$\int \int \int_{y x z} y F_r(y, x, z) dx dy dz = \sum_{i=1}^N \iint_{S_i} y F_r(y, x) dy dx;$$

$$\int \int \int_{y x z} (y - m_\gamma)^2 F_r(y, x, z) dx dy dz = \sum_{i=1}^N \iint_{S_i} (y - m_\gamma)^2 F_r(y, x) dy dx,$$

где S_i – область интегрирования для i -го фрагмента поверхности.

При адекватном моделировании ШК фрагмента поверхности выполняется равенство следующих характеристик:

$$\iint_{S_i} F_r(y, x) dy dx = \iint_{S_{mi}} F_r(y, x) dy dx; \quad (5)$$

$$\iint_{S_i} y F_r(y, x) dy dx = \iint_{S_{mi}} y F_r(y, x) dy dx;$$

$$\iint_{S_i} (y - m_\gamma)^2 F_r(y, x) dy dx = \iint_{S_{mi}} (y - m_\gamma)^2 F_r(y, x) dy dx,$$

где индексом m отмечен параметр геометрической модели, а индексом i – параметр, соответствующий i -му фрагменту поверхности или его модели.

При выполнении условий (5) можно записать следующее:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \iint_{S_i} F_r(y, x) dydx &= \sum_{i=1}^N \iint_{S_{mi}} F_{rmi}(y, x) dydx ; \\ \sum_{i=1}^N \iint_{S_i} y F_r(y, x) dydx &= \sum_{i=1}^N \iint_{S_{mi}} y F_{rmi}(y, x) dydx ; \\ \sum_{i=1}^N \iint_{S_i} (y - m_\gamma)^2 F_r(y, x) dydx &= \sum_{i=1}^N \iint_{S_{mi}} (y - m_{\gamma mi})^2 F_{rmi}(y, x) dydx . \end{aligned} \quad (6)$$

Сравнивая выражения (4) и (6), получаем:

$$\begin{aligned} \iiint_{y x z} F_r(y, x, z) dx dy dz &= \sum_{i=1}^N \iint_{S_{mi}} F_{rmi}(y, x) dydx ; \\ \iiint_{y x z} y F_r(y, x, z) dx dy dz &= \sum_{i=1}^N \iint_{S_{mi}} y F_{rmi}(y, x) dydx ; \\ \iiint_{y x z} (y - m_\gamma)^2 F_r(y, x, z) dx dy dz &= \sum_{i=1}^N \iint_{S_{mi}} (y - m_{\gamma mi})^2 F_{rmi}(y, x) dydx . \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, адекватное моделирование статистических характеристик ШК отдельных фрагментов поверхности гарантирует адекватное моделирование тех же характеристик для всего объекта в целом.

Рассмотрим ряд простейших геометрических моделей, которые могут быть использованы для замещения фрагментов.

2. Четырехточечная модель

Доказав возможность замещения распределенного объекта совокупностью моделей, рассмотрим некоторые простейшие пригодные для этого модели.

Хорошо известен способ замещения протяженных объектов двухточечной моделью [4, 12–13]. Она представляет собою два разнесенных в пространстве излучателя, к которым подводятся некоррелированные узкополосные нормальные случайные процессы. При этом положение КЦИ флуктуирует в соответствии с распределением (1). Недостатком двухточечной модели при имитации отражений от поверхностно распределенных объектов является невозможность независимого управления одноименными параметрами ПРВ ШК по двум ортогональным координатным осям [14–15]. Кроме того, такая модель не позволяет независимо друг от друга изменять параметры m_γ и μ_γ при визировании вдоль одной из осей. Это значительно ограничивает возможность практического применения данной модели.

В качестве развития указанной модели рассмотрим четырехточечную модель – рис. 2 ($\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2, \sigma_4^2$ – мощности сигналов, излучаемых из точек модели).

Функцию распределения плотности интенсивности сигналов излучающих точек можно представить в виде

$$F_r(x, y) = \sigma_1^2 \delta(y - l_s) \delta(x + l_c) + \sigma_2^2 \delta(x + l_c) \delta(y + l_s) + \sigma_3^2 \delta(x + l_c) \delta(y - l_s) + \sigma_4^2 \delta(x - l_c) \delta(y + l_s), \quad (8)$$

где $l_s = \frac{L}{2} \sin(\psi)$; $l_c = \frac{L}{2} \cos(\psi)$; $\delta(\cdot)$ – дельта-функция.

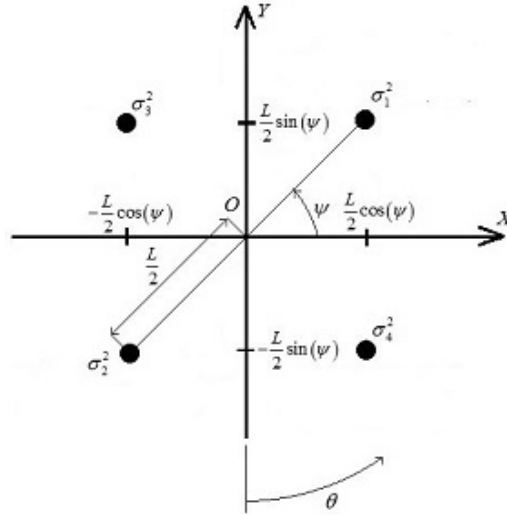


Рис. 2 – Четырехточечная модель двумерного отражающего объекта

Fig. 2 – The four-point model of a two-dimensional reflective object

Параметры ПРВ ШК, определенные в соответствии с выражениями (2), (3) и (8):

$$m_\gamma = \frac{L}{2} \frac{(\sigma_4^2 - \sigma_3^2) \cos(\psi + \theta) + (\sigma_1^2 - \sigma_2^2) \cos(\psi - \theta)}{(\sigma_2^2 + \sigma_3^2) + (\sigma_4^2 + \sigma_1^2)}, \quad (9)$$

$$\mu_\gamma^2 = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2}{4 \left[\frac{\left((\sigma_3^2 + \sigma_4^2) \cos^2(\psi + \theta) + (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \cos^2(\psi - \theta) \right) - \left[(\sigma_4^2 - \sigma_3^2) \cos(\psi + \theta) + (\sigma_1^2 - \sigma_2^2) \cos(\psi - \theta) \right]^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \right]},$$

где θ – угол визирования модели (рис. 2).

Можно показать, что математическое ожидание m_γ и параметр μ_γ при визировании вдоль оси OY ($\theta = 0$) определяются суммарной мощностью пар излучателей 1–4 и 2–3 и не зависят от соотношения мощностей излучателей в этих парах. Соответствующие параметры вдоль оси OX ($\theta = -\pi/2$) определяются суммарной мощностью пар излучателей 2–4 и 1–3 и не зависят от соотношения мощностей излучателей в этих парах. Следовательно, перераспределяя мощность

в парах точек 1–3 и 2–4, можно установить нужное положение КЦИ относительно оси OY , сохранив при этом заданное положение КЦИ относительно оси OX . Таким образом, в отличие от двухточечной модели данная модель позволяет осуществлять независимое управление параметрами ПРВ ШК вдоль ортогональных осей.

В частном случае равных мощностей излучателей, когда $\sigma_i^2 = \sigma^2$ для $i = 1, 2, 3, 4$, $\psi = \pi/4$ (излучатели расположены в вершинах квадрата), выражения для параметров ПРВ ШК (9) приобретают вид

$$m_\gamma = 0, \quad \mu_\gamma^2 = \frac{16}{L^2}. \quad (10)$$

Таким образом, при расположении излучателей в вершинах квадрата рассматриваемая модель становится инвариантной к углу визирования (т. е. параметры ПРВ ШК не изменяются при изменении угла визирования)

Построение такой модели сводится к расположению излучающих точек с равными мощностями излучения в вершинах квадрата с размером стороны:

$$L' = \frac{L}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}\mu_\gamma}.$$

3. Пятиточечная модель

Легко заметить, что при визировании вдоль одной из осей координат конфигурация рис. 2 сводится к двухточечной модели, а следовательно, также не позволяет независимо друг от друга изменять параметры m_γ и μ_γ . Данное ограничение существенно и приводит к тому, что при решении задачи имитации есть возможность задавать либо угловое положение объекта, либо его угловые размеры. От этого ограничения свободна пятиточечная модель.

Рассмотрим конфигурацию, изображенную на рис. 2, при наличии еще одного излучателя в центре (рис. 3).

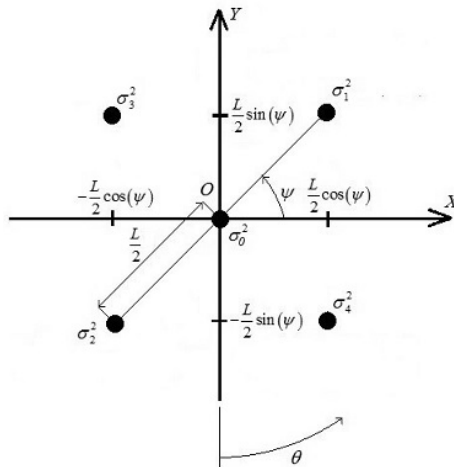


Рис. 3 – Пятиточечная модель двумерного отражающего объекта

Fig. 3 – The five-point model of a two-dimensional reflective object

Функция распределения плотности интенсивности сигналов излучающих точек отличается от (8) наличием еще одного члена $\sigma_0^2 \delta(x) \delta(y)$.

Параметры ПРВ ШК, определенные в соответствии с выражениями (2), (3) и (8):

$$m_\gamma = \frac{L}{2} \frac{(\sigma_4^2 - \sigma_3^2) \cos(\psi + \theta) + (\sigma_1^2 - \sigma_2^2) \cos(\psi - \theta)}{(\sigma_2^2 + \sigma_3^2) + (\sigma_4^2 + \sigma_1^2) + \sigma_0^2}, \quad (11)$$

$$\mu_\gamma^2 = \frac{\sigma_0^2 + \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2}{\left[\left((\sigma_3^2 + \sigma_4^2) \cos^2(\psi + \theta) + (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \cos^2(\psi - \theta) \right) - \frac{L^2}{4} \frac{\left[(\sigma_4^2 - \sigma_3^2) \cos(\psi + \theta) + (\sigma_1^2 - \sigma_2^2) \cos(\psi - \theta) \right]^2}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \right]}.$$

Подставив в выражения (11) углы, соответствующие визированию вдоль координатных осей, можно убедиться, что данная модель также позволяет независимо управлять одноименными параметрами распределения ШК вдоль ортогональных координатных осей.

При визировании вдоль одной из осей координат пятиточечная модель сводится к трехточечной, а следовательно, допускает независимое друг от друга управление параметрами m_γ и μ_γ в отличие от модели (рис. 2).

В частном случае равных мощностей излучателей, когда $\sigma_i^2 = \sigma^2$ для $i = 0, 1, 2, 3, 4$, $\psi = \pi/4$, выражения (11) приобретают вид

$$m_\gamma = 0, \quad \mu_\gamma^2 = \frac{20}{L^2}. \quad (12)$$

Построение такой модели сводится к расположению излучателей, мощность сигналов которых одинакова, в соответствии с рис. 3 (крайние точки расположены в вершинах квадрата). Размер стороны квадрата определяется соотношением

$$L' = \frac{L}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{10}}{\mu_\gamma}.$$

В случае, если имеется ограничение на L , требуемых параметров ПРВ ШК можно добиться, устанавливая соотношение между мощностями центральной точки и остальных излучателей. Для пояснения рассмотрим следующий случай. Пусть мощность центрального излучателя отличается от мощностей всех остальных излучателей, которые полагаем равными $\sigma_i^2 = \sigma^2$ для $i = 1, 2, 3, 4$. В этом случае выражения для параметров ПРВ ШК (11) принимают вид (при расположении излучающих точек в вершинах квадрата):

$$m_\gamma = 0, \quad \mu_\gamma^2 = \frac{4}{L^2} \left(4 + \left(\frac{\sigma_0}{\sigma} \right)^2 \right). \quad (13)$$

Полученные выражения (12–13) свидетельствуют о том, что параметры ПРВ ШК не зависят от угла визирования. При этом для того чтобы управлять эффек-

тивной «шириной» распределения, можно изменять только мощность центрального излучателя σ_0^2 . Соотношение между мощностями центрального и остальных излучателей, требуемое для задания эффективной «ширины» ПРВ ШК, можно определить по соотношению

$$\frac{\sigma_0^2}{\sigma^2} = \frac{\mu_\gamma^2 L^2}{4} - 4.$$

4. Пример практического применения

Допустим, что однородный поверхностно распределенный объект в результате декомпозиции разбит на N^2 ($N \times N$) взаимно неперекрывающихся фрагментов. Для каждого фрагмента поверхности построена пятиточечная геометрическая модель (рис. 3). Вследствие однородности объекта модели всех фрагментов имеют одинаковые параметры (мощности излучателей и расстояния между ними). Зная параметры распределения ШК отдельных фрагментов, определим соответствующие параметры для всего объекта в целом.

Пусть $m_{\gamma i}$, $\mu_{\gamma i}$ – параметры ПРВ ШК i -го фрагмента поверхности.

Тогда выражения (2) и (3) можно переписать в следующем виде:

$$m_\gamma = \frac{\sum_{i=1}^{N^2} \iint_{S_i} y F_r(y, x, z) dx dy}{\sum_{i=1}^{N^2} \iint_{S_i} F_r(y, x, z) dx dy}, \quad \mu_\gamma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N^2} \iint_{S_i} F_r(y, x, z) dx dy}{\sum_{i=1}^{N^2} \iint_{S_i} y^2 F_r(y, x, z) dx dy}. \quad (14)$$

Для каждого фрагмента поверхности мощности излучателей и их взаимное расположение одинаковы, поэтому

$$\sum_{i=1}^{N^2} \iint_{S_i} F_r(y, x, z) dx dy = N^2 \iint_S F_r(y, x, z) dx dy. \quad (15)$$

С учетом (15) выражения (14) можно представить в виде

$$m_\gamma = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N^2} m_{\gamma i}, \quad \mu_\gamma^2 = \frac{1}{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N^2} \frac{1}{\mu_{\gamma i}^2}}.$$

Таким образом, полученные выражения позволяют по параметрам ПРВ ШК фрагментов, на которые разбита поверхность объекта, определить параметры распределения ШК для всей поверхности.

Заключение

В работе доказана возможность задания отражающих свойств поверхностно распределенного объекта через параметры распределения ШК (1) путем замещения этого объекта совокупностью простейших геометрических моделей.

Это хорошо согласуется с широко применяемыми при моделировании сложных радиолокационных сцен полигональными моделями. При этом каждый

элементарный фрагмент полигональной модели сложного объекта замещается простейшей геометрической моделью.

Полученные результаты могут быть применены при синтезе моделей поверхностно распределенных отражающих объектов, используемых для имитации отраженных от них электромагнитных полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тверской Г.Н., Терентьев Г.К., Харченко И.П.** Имитаторы эхо-сигналов судовых радиолокационных станций. – Л.: Судостроение, 1973. – 223 с.
2. Вопросы реализации имитатора входных сигналов систем ближней радиолокации для полунатурного моделирования помех от подстилающей поверхности / К.А. Антонов, В.О. Григорьев, В.Б. Сучков, М.Г. Фабричный // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. – 2006. – № 4. – С. 45–59.
3. **Skolnik M.I.** Radar handbook. – 3rd ed. – New York: McGraw Hill, 2008. – 1352 p.
4. **Островитянов Р.В., Басалов Ф.А.** Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
5. **Островитянов Р.В., Басалов Ф.А.** Статистические характеристики больших выбросов углового шума // Радиотехника и электроника. – 1974. – Т. 19, № 2. – С. 431–432.
6. **Делано Р.** Теория «мерцания» цели и угловые ошибки при радиолокационном сопровождении // Вопросы радиолокационной техники. – 1954. – № 1 (19). – С. 108–119.
7. **Губонин Н.С.** Флюктуации фазового фронта волны, отраженной от сложной цели // Радиотехника и электроника. – 1965. – Т. 11, № 5. – С. 844–852.
8. **Варшавчик М.Л.** О статистических характеристиках сигнала, рассеянного протяженным колеблющимся телом // Радиотехника и электроника. – 1968. – Т. 13, № 10. – С. 1749–1752.
9. Математическое моделирование характеристик рассеяния объектов локации с импедансной поверхностью [Электронный ресурс] / А.Б. Борзов, В.Б. Сучков, В.В. Ахияров, Ю.В. Каракулин // Журнал радиоэлектроники. – 2014. – № 2. – С. 1–13. – URL: <http://jre.cplire.ru/alt/feb14/12/text.html> (дата обращения: 28.08.2015).
10. **Борзов А.Б., Соколов А.В., Сучков В.Б.** Цифровое моделирование входных сигналов систем ближней радиолокации от сложных радиолокационных сцен [Электронный ресурс] // Журнал радиоэлектроники. – 2004. – № 4. – С. 1–27. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/apr04/3/text.html> (дата обращения: 28.08.2015).
11. **Борзов А.Б., Сучков В.Б.** Анализ полей рассеяния сложных радиолокационных сцен на основе полигональных моделей // Научные технологии. – 2001. – Т. 2, № 3. – С. 13–28.
12. **Киселев А.В., Никулин А.В., Тыркин С.В.** Малоточечная модель протяженного отражающего объекта // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – № 4. – С. 78–88.
13. **Никулин А.В., Степанов М.А.** Замещение распределенного объекта трехточечной геометрической моделью // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Радиолокационная техника (РЛТ). – 2014. – № 2. – С. 77–85.
14. **Артюшенко В.В., Киселев А.В.** Геометрическая модель двумерных отражающих объектов // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Общетехническая (ОТ). – 2015. – № 3. – С. 44–51.
15. **Artyushenko V.V., Kiselev A.V.** The geometric model of two-dimensional reflective objects // Proceedings of 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM–2015), Altai, Erlagol, 29 June – 3 July 2015. – Novosibirsk: NSTU Publ.: IEEE, 2015. – P. 107–109. – doi: 10.1109/EDM.2015.7184500.

DEFINITION OF REFLECTIVE PROPERTIES OF DISTRIBUTED OBJECTS IN TERMS OF ANGLE NOISES

Artyushenko V.V., Kiselev A.V., Stepanov M.A.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

The definition of reflective properties of distributed objects through angle noise distribution parameters is considered. A surface of a reflective object is represented as a set of mutually non-overlapping fragments, each of which is substituted by the simplest model. Geometric models that can be used to substitute surface fragments are proposed. Analytical expressions for determining distribution parameters of angle noise for a given power of emitters and distances between them are obtained for each model. Expressions that allow synthesizing models with required angle noise distribution parameters are obtained. It is shown that angle noise distribution parameters for an object as a whole can be determined using angle noise distribution parameters for separate fragments of the surface. These results can be used for the synthesis of mathematical models used for simulating reflections from distributed objects and for developing a hardware-software complex for the simulation of electromagnetic fields reflected from the ground surface, atmospheric inhomogeneities, the sea surface, etc.

Keywords: surface-distributed object, simulation of reflections, angle noise, geometric model, apparent center of radiation

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-3-17-28

REFERENCES

1. Tverskoi G.N., Terent'ev G.K., Kharchenko I.P. *Imitatory ekho-signalov sudovykh radiolokatsionnykh stantsii* [Echo shipboard radar simulators]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1973. 223 p.
2. Antonov K.A., Grigor'ev V.O., Suchkov V.B., Fabrichnyi M.G. Voprosy realizatsii imitatora vkhodnykh signalov sistem blizhnei radiolokatsii dlya polunaturnogo modelirovaniya pomekh ot podstilayushchei poverkhnosti [Problems of implementation of input signal imitator of short-range radar systems for quasi full-scale modeling of underlying surface interference]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya: Priborostroenie – Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series: Instrument Engineering*, 2006, no. 4, pp. 45–59.
3. Skolnik M.I. Radar handbook. 3rd ed. New York, McGraw Hill, 2008. 1352 p.
4. Ostrovityanov R.V., Basalov F.A. *Statisticheskaya teoriya radiolokatsii protyazhennykh tselei* [Statistical theory of extended objectives radar]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1982. 232 p.
5. Ostrovityanov R.V., Basalov F.A. Statisticheskie kharakteristiki bol'shikh vybrosov uglovogo shuma [Statistical characteristics of large overshoot of angle noise]. *Radiotekhnika i elektronika – Journal of Communications Technology and Electronics*, 1974, vol. 19, no. 2, pp. 431–432. (In Russian)
6. Delano R. Teoriya "mertsaniya" tseli i uglovye oshibki pri radiolokatsionnom soprovozhdenii [Theory of glitter and angular errors during the radar tracking]. *Voprosy radiolokatsionnoi tekhniki – Problems of radar engineering*, 1954, no. 1 (19), pp. 108–119. (In Russian)
7. Gubonin N.S. Flyuktuatsii fazovogo fronta volny, otrazhennoi ot slozhnoi tseli [Fluctuations of the phase front of a wave reflected from a complex target]. *Radiotekhnika i elektronika – Journal of Communications Technology and Electronics*, 1965, vol. 11, no. 5, pp. 844–852. (In Russian)
8. Varshavchik M.L. O statisticheskikh kharakteristikakh signala, rasseyannogo protya-zhennym koleblyushchimsya telom [On the statistical characteristics of signal scattered by an extended oscillating object]. *Radiotekhnika i elektronika – Journal of Communications Technology and Electronics*, 1968, vol. 13, no. 10, pp. 1749–1752.
9. Borzov A.B., Suchkov V.B., Akhiyarov V.V., Karakulin Yu.V. Matematicheskoe modelirovanie kharakteristik rasseyaniya ob"ektov lokatsii s impe-dansnoi poverkhnost'yu [Mathematical simulation of location objects scattering characteristics with impedance surface]. *Zhurnal radioelektroniki – Journal of radio electronics*, 2014, no. 2, pp. 1–13. Available at: <http://jre.cplire.ru/alt/feb14/12/text.html> (accessed 31.08.2015)

10. Borzov A.B., Sokolov A.V., Suchkov V.B. Tsifrovoye modelirovaniye vkhodnykh signalov sistem blizhnei radiolokatsii ot slozhnykh radiolokatsionnykh stsen [Digital simulation of input signals of systems of a near radar-location from complex radar-tracking scenes]. *Zhurnal radioelektroniki – Journal of radio electronics*, 2004, no. 4, pp. 1–27. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/apr04/3/text.html> (accessed 31.08.2015)
11. Borzov A.B., Suchkov V.B. Analiz polei rasseyaniya slozhnykh radiolokatsionnykh stsen na osnove poligonal'nykh modelei [Analysis of the stray fields of complex radar scenes based on polygonal models]. *Naukoemkie tekhnologii – Science Intensive Technologies*, 2001, no. 3, vol. 2, pp. 13–28.
12. Nikulin A.V., Kiselev A.V., Tyrykin S.V. Malotochechnaia model' protiazhennogo otrazhaiushchego ob'ekta [Model of an extended reflecting object consisting of a small number of points]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 4 (25), pp. 78–88.
13. Nikulin A.V., Stepanov M.A. Zameshcheniye raspredelennogo ob'ekta trekhtocheynoi geometricheskoi model'yu [The substitution of a distributed radar object for a three-point model]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Radiolokatsionnaya tekhnika (RLT) – Problems of electronics. A radar technology series (RLT)*, 2014, no. 2, pp. 77–85.
14. Artyushenko V.V., Kiselev A.V. Geometricheskaya model' dvumernykh otrazhayushchikh ob'ektov [The geometric model of two-dimensional reflective objects]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Obshchetekhnicheskaya (OT) – Problems of Radioelectronics. General Engineering Series*, 2015, no. 3, pp. 44–51.
15. Artyushenko V.V., Kiselev A.V. The geometric model of two-dimensional reflective objects. *Proceedings of 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM-2015)*, Altai, Erlagol, 29 June – 3 July 2015. Novosibirsk, NSTU Publ., IEEE, 2015, pp. 107–109. doi: 10.1109/EDM.2015.7184500

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Артюшенко Вадим Валерьевич – родился в 1992 году, аспирант кафедры радиоприемных и радиопередающих устройств Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: имитация радиотехнических сигналов. Опубликовано 4 научные работы. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Email: artushenkomail@mail.ru).

Artyushenko Vadim Valeryevich (b. 1992) – a postgraduate student at the Department of Radio receiving and Radio transmitting Devices, Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on radio signal simulation. He is author of 4 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russian Federation. Email: artushenkomail@mail.ru).



Киселев Алексей Васильевич – родился в 1958 году, д-р техн. наук, профессор кафедры радиоприемных и радиопередающих устройств Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: имитационное моделирование сложной радиоэлектронной обстановки, радиолокация, радиосвязь. Имеет более 150 публикаций. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, E-mail: nil_rtu@ngs.ru).

Kiselev Alexey Vasilevich (b. 1958) – Doctor of Sciences (Eng.), a professor at the Department of Radio receiving and Radio transmitting Devices, Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on simulation of complex electronic environment, radar detecting and ranging, and radio communication. He is author more than 150 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russian Federation. Email: nil_rtu@ngs.ru).



Степанов Максим Андреевич – родился в 1982 году, канд. техн. наук, доцент кафедры радиоприемных и радиопередающих устройств. Область научных интересов: имитационное моделирование сложной радиоэлектронной обстановки, радиолокация, радиосвязь. Опубликовано более 30 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Email: m.stepanov@corp.nstu.ru).

Stepanov Maksim Andreevich (b. 1982) – Candidate of Sciences (Eng.), an associate professor at the Department of Radio receiving and Radio transmitting Devices, Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on simulation of complex electronic environment, radar detecting and ranging, and radio communication. He is author more 30 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russian Federation. Email: m.stepanov@corp.nstu.ru).

*Статья поступила 28 августа 2015 г.
Received August 28, 2015*

To Reference:

Artyushenko V.V., Kiselev A.V., Stepanov M.A. Zadanie otrazhayushchikh svoistv raspredelennykh ob'ektov v terminakh shumov koordinat [Definition of reflective properties of distributed objects in terms of angle noises]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 3 (28), pp. 17–28. doi: 10.17212/1727-2769-2015-3-17-28