

Я. М. Грохольський, Б. А. Сусь

КОНЦЕПЦИЯ ЕДИНСТВА КОРПУСКУЛЯРНОГО И ВОЛНОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

Все возможные диапазоны радиоволн рассматриваются с позиций единства их физической природы в виде корпускулярно-волнового колебательного процесса, объединяющим базисом которого является периодическое превращение энергии электромагнитной формы колебания в массу, названную корпускулой, и наоборот. С учетом этого введены понятия электромагнитного колебания, фотона в расширенном понимании и базисного фотона.

Ключевые слова: электромагнитные колебания; радиоволны; масса; энергия; корпускулярно-волновая природа; фотон базисный.

Y. Grokholskyi, B. Susy

CONCEPT OF UNITY OF CORPUSCULAR AND WAVE REPRESENTATIONS OF DISTRIBUTION OF RADIOWAVES

All possible ranges of radio waves are examined from the perspective of the unity of the physical nature in the form of wave oscillating process. The unifying basis is periodical transition form of electromagnetic oscillations into the mass, called corpuscles, and vice versa.

Keywords: electromagnetic waves; radio waves; mass; energy; wave-particle nature; basic photon.

УДК 629.039 : 351.749

С. В. ЛАЗАРЕНКО, канд. техн. наук, доцент,

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

Подходы к решению теоретической задачи идентификации радиолокационных целей для предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера

Определены подходы к решению теоретической задачи идентификации радиолокационных целей, осуществляемой для предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера на объектах критической инфраструктуры.

Дана краткая характеристика радиолокационных целей. Показано, что наличие априорных данных об опасной цели может позволить существенно сократить время идентификации обнаруженных радиолокационных целей на фоне ложных целей. Рассмотрено решение прямой задачи рассеивания электромагнитных волн одиночными объектами и установлено, что результат решения этой задачи в рамках приближения Рытова определяется функцией Ханкеля 1-го рода нулевого порядка и параметрами падающей электромагнитной волны.

Далее теоретически обосновывается решение обратной задачи рассеивания, позволяющей восстановить образ (конфигурацию) радиолокационной цели. Показано, что для высоких частот электромагнитного излучения в рамках приближения Рытова линейные интегралы функций коэффициента поглощения электромагнитных волн в различных точках поверхности облучаемой радиолокационной цели описывается рассеянным электромагнитным полем.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; террористический акт; электромагнитные волны; облучаемый объект; приближение Рытова.

Введение

Предотвращение чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и, особенно, террористического характера, защита населения и территорий от аварий и катастроф — это актуальная, можно сказать, насущная техническая и организационная проблема государственной важности [1; 2]. В настоящее время, когда идет открытое военное противостояние на востоке Украины, предотвращение враждебных действий в отношении объектов критической инфраструктуры (атомные электростанции, предприятия гидро- и теплоэнергетики, химические и нефтехимические комбинаты) возложено на службы их физической защиты [3; 4]. Для обеспечения целостности периметра и наблюдения за прилегающими контролируемыми территориями силовые службы оснащены всевозможными средствами наблюдения: оптоэлектронными и инфракрасными, акустическими и радиолокационными. Безусловное преимущество радиолокационных средств состоит в их способности сравнительно быстро обнаруживать злоумышленников, функционируя круглосуточно в условиях ограниченной видимости. При этом обеспечивается обследование наземного, приземного и воздушного пространства вокруг охраняемого объекта, что для других средств наблюдения проблематично [5–9].

Недостатком радиолокационных средств наблюдения является относительная длительность процесса идентификации обнаруженных радиолокационных целей.

Постановка цели и задач научного исследования

Цель работы — определить подходы к решению теоретической задачи идентификации радиолокационных целей.

Для определения указанных подходов необходимо решить следующие научные задачи.

1. Дать краткую характеристику радиолокационных целей.

2. Рассмотреть решение прямой задачи рассеивания электромагнитных волн одиночными объектами.
3. Теоретически обосновать решение обратной задачи рассеивания, позволяющей восстановить образ (конфигурацию) радиолокационной цели.

Характеристика радиолокационных целей

Знание характеристик радиолокационных целей необходимо для оптимизации (сокращения времени) идентификации обнаруженных радиолокатором объектов. Главная задача идентификации (классификации) — выделить опасную цель на фоне ложных целей или определить характер ее движения и тип соответствующего объекта.

Сложность решения каждой из задач — обнаружения, измерения, разрешения и распознавания объекта для любого конечного объема пространства — заключается в том, что процесс выполнения соответствующих действий должен укладываться в определенное время. Поэтому априорное знание характеристик радиолокационных целей позволит упростить и формализовать обработку радиолокационной информации.

Основными характеристиками радиолокационных целей являются отражающая способность — способность цели переизлучать определенную часть падающей на нее электромагнитной энергии; закон распределения и спектр флуктуаций амплитуды отраженного сигнала; закон распределения и спектр флуктуаций фазового фронта отраженного сигнала; особенности траектории движения.

Отражающие свойства цели наряду с параметрами радиолокационной станции (РЛС) определяют дальность ее действия и зависят от размеров цели, материала, из которого она изготовлена, конфигурации, длины волны РЛС и направления облучения. Невозможность точного учета всех перечисленных факторов привела к необходимости введения специального расчетного параметра — эффективной отражающей площади цели, трактуемой как абстрактная поверхность, являющаяся изотропным и не поглощающим энергию переизлучателем, которая, будучи помещена в точку расположения цели, создает у антенны РЛС такую же плотность потока мощности отраженного сигнала, как и реальная цель.

По способам расчета эффективной отражающей площади радиолокационные цели можно разделить на элементарные и сложные. Эффективная поверхность элементарных целей, к которым относятся металлический шар, пластина, вибратор, уголкового отражатель, может быть найдена при помощи аналитических расчетов.

Для сложных целей, к числу которых относится большинство реальных объектов, эффективная отражающая площадь может быть определена только экспериментально. Сложные цели, в свою очередь, могут быть разделены на точечные и распределенные. К точечным целям относятся объекты, линейные размеры которых значительно меньше элементов разрешения РЛС по дальности и угловым координатам. Разность радиальных скоростей их крайних точек намного меньше элемента разрешения по скорости. Эффективная отражающая площадь точечных целей определяется экспериментально, при этом они практически не увеличивают длительность отраженного сигнала и не изменяют его спектр по сравнению с сигналом, отраженным от цели в виде геометрической точки.

Распределенными называют цели, для которых ракурс изменяет не только спектр отраженного сигнала, но и его энергетические соотношения. Распределенные цели могут быть поверхностными, как земная поверхность и водная гладь, склон горы и край каньона, и объемными, как облака пассивных помех в виде дипольных отражателей или облака пепла, выброшенного из кратера вулкана при его извержении. Для распределенных целей экспериментально определяется средняя удельная эффективная отражающая площадь, которая характеризует отражающие свойства единицы площади или объема.

Таким образом, наличие априорных данных об опасной цели может позволить существенно сократить время идентификации обнаруженных радиолокационных целей на фоне ложных целей.

Решение прямой задачи рассеивания

Известно, что отраженный от цели электромагнитный сигнал несет в себе всю информацию о цели [9]. Чтобы получить эту информацию, необходимо решить обратную задачу электромагнитного рассеивания, т. е. по отраженному сигналу найти эффективную отражающую площадь и восстановить силуэт цели. Решение этой задачи равносильно нахождению характеристической функции цели по ее плоскостным интегралам в трехмерном евклидовом пространстве \mathbf{R}^3 .

Рассмотрим рассеивающий объект в двумерном евклидовом пространстве \mathbf{R}^2 , который характеризуется показателем преломления (отражения)

$$n(x) = \sqrt{1 + f(x)}, \quad (1)$$

где переменная x задает положение произвольной точки на поверхности изучаемого объекта (цели), в которую попадает электромагнитная волна, а функция $f(x)$ описывает степень поглощения электромагнитных волн в точке x , лежащей на поверхности опасной радиолокационной цели, и обращается в нуль вне единичного круга.

Пусть на объект падает гармоническая электромагнитная волна с частотой k . Рассмотрим плоскую волну, т. е. множество I параллельных электромагнитных лучей, пронизывающих этот объект. Тогда

$$u_I(x) = e^{ik\theta \cdot x}, \quad (2)$$

где θ — единичный вектор, указывающий направление распространения электромагнитных волн и принадлежащий единичному кругу, $\theta \in \mathbf{S}^1$; при этом $\theta \cdot x = s$ — скалярное произведение, равное расстоянию от точки x до начала координат.

При прямом рассеивании для заданной функции f получаем рассеянную волну $e^{-ikt} u_s(x)$, для которой $u = u_s + u_I$ удовлетворяет следующему волновому уравнению:

$$\Delta u + k^2(1+f)u = 0, \quad (3)$$

где Δ — оператор Лапласа.

Решение уравнения (3) будем искать в рамках приближения Рытова, для чего предположим, что в (3)

$$u = u_I e^{k\omega}. \quad (4)$$

Тогда получим

$$k\Delta\omega + 2ik^2\theta \cdot \nabla\omega + k^2|\nabla\omega| = -k^2f, \quad (5)$$

где ∇ — знак градиента.

Пренебрегая слагаемыми, содержащими множитель $|\nabla\omega|$, получаем приближение Рытова u_R функции u в виде

$$u_R = u_I e^{k\omega_R}, \quad (6)$$

где ω_R удовлетворяет одному из следующих уравнений:

$$\Delta\omega_R + 2ik\theta\nabla\omega_R = -kf, \quad (7)$$

$$\Delta(u_I\omega_R) + k^2(u_I\omega_R) = -kf u_I. \quad (8)$$

Решение дифференциального уравнения (8) можно найти при помощи функции Грина $H_0(k|x|)$, где $4\pi i H_0$ — функция Ханкеля 1-го рода нулевого порядка,

$$H_0(k|x|) = \frac{-i}{4\pi} \int_{\mathbf{R}^1} e^{i(|x|a(\sigma)+x^2\sigma)} \frac{d\sigma}{a(\sigma)}, \quad (9)$$

где $a = \sqrt{k^2 - \sigma^2}$.

Теперь решение уравнения (8) примет вид

$$u_I\omega_R(x) = -k \int_{\mathbf{R}^2} H_0(k|x-y|) f(y) u_I(y) dy. \quad (10)$$

Таким образом, решение прямой задачи рассеивания в рамках приближения Рытова определяется функцией Ханкеля 1-го рода нулевого порядка и параметрами падающей электромагнитной волны.

Решение обратной задачи рассеивания

Для решения обратной задачи рассеивания достаточно разрешить уравнение (10) относительно f . Использование приближения Рытова требует наличия данных от лучей, пришедших в точку их излучения, т. е. должно иметь место равенство

$$g(\theta, y) = \omega_R(r\theta + s\theta^\perp), \quad (11)$$

где θ^\perp — вектор, ортогональный единичному вектору θ ; r — фиксированное число, большее единицы; ω_R — значение, измеряемое вне круга радиуса.

Подставив u_I из (2) и H_0 из (9) в выражение (10), получим:

$$g(\theta, s) = -k \int_{\mathbf{R}^1} \int_{\mathbf{R}^1} H_0 k \sqrt{(r-r')^2 + (s-s')^2} f(r'\theta + s'\theta^\perp) e^{ikr} dr' ds' = \frac{ik}{4\pi} e^{-ikr} \int_{\mathbf{R}^1} \int_{\mathbf{R}^1} \int_{\mathbf{R}^1} e^{i(|r-r'|a(\sigma)+(s-s')\sigma)} \frac{d\sigma}{a(\sigma)} f(r'\theta + s'\theta^\perp) e^{ikr} dr' ds'.$$

Поскольку $r > 1$ и $f(r'\theta + s'\theta^\perp) = 0$ для $|r'| > 1$, то знак модуля в выражении $|r-r'|$ можно опустить. Изменив порядок интегрирования, запишем:

$$g(\theta, s) = \frac{ik}{4\pi} e^{-ikr} \int_{\mathbf{R}^1} e^{is\sigma} \frac{e^{ira(\sigma)}}{a(\sigma)} \int_{\mathbf{R}^1} \int_{\mathbf{R}^1} e^{-i(r'(a(\sigma)-k)+s'\sigma)} f(r'\theta + s'\theta^\perp) dr' ds' d\sigma. \quad (12)$$

Интегрирование по $y = r'\theta + s'\theta^\perp$ представляет собой преобразование Фурье \hat{f} в \mathbf{R}^2 , следовательно,

$$g(\theta, s) = \frac{ik}{2\pi} e^{-ikr} \int_{\mathbf{R}^1} e^{is\sigma} \frac{e^{ira(\sigma)}}{a(\sigma)} \hat{f}((a(\sigma)-k)\theta + \sigma\theta^\perp) d\sigma. \quad (13)$$

Интегрирование по σ представляет собой обратное преобразование Фурье в \mathbf{R}^2 .

По теореме об обратном преобразовании Фурье получим следующее выражение:

$$\hat{f}((a(\sigma)-k)\theta + \sigma\theta^\perp) = -\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{ia(\sigma)}{k} e^{ir(k-a(\sigma))} \hat{g}(\theta, \sigma), \quad (14)$$

где \hat{g} — одномерное преобразование Фурье по второму аргументу.

Если σ пробегает отрезок $[-k; k]$, то величина

$$(a(\sigma)-k)\theta + \sigma\theta^\perp = \sqrt{k^2 - \sigma^2} \cdot \theta - \sigma\theta^\perp - k\theta$$

пробегает полуокружность с центром в точке $-k\theta$ и серединой в начале координат. Следовательно, если θ принимает значения из \mathbf{S}^{-1} единичного круга, то формула (14) задает \hat{f} (преобразование Фурье) в круге, радиус которого не меньше k .

Принебрегаючи частотами, перевищуючими k , маємо всі основания полагати, що співвідношення (14) в принципі вирішує обернену задачу розсіяння в наближенні Ритова, т. е. при k , прагнучим до нескінченності, співвідношення $\frac{a(\sigma)}{k} \rightarrow 1$, а відповідно, $a(\sigma) - k \rightarrow 0$.

Тоді співвідношення (14) прийме вигляд

$$\hat{f}(\sigma\theta^\perp) = -\sqrt{\frac{2}{\pi}} i \hat{g}(\theta, \sigma), \quad (15)$$

т. е. задає перетворення Фур'є \hat{f} уже не на колах, а на прямих.

Ураховуючи, що

$$\hat{f}(\sigma\theta) = \sqrt{2\pi} \mathbf{R}f(\theta, s), \quad (16)$$

де $\mathbf{R}f(\theta, s) = \int_{\theta \cdot x = s} f(x) dx$, отримуємо граничний випадок оберненої задачі розсіяння для хвильового рівняння:

$$\int_{\theta^\perp \cdot x = s} f(x) dx = -2i\omega_R (r\theta + s\theta^\perp). \quad (17)$$

Висновки

◆ Розв'язок прямої задачі розсіяння в межах наближення Ритова визначається функцією Ханкеля 1-го роду нульового порядку і параметрами падаючої електромагнітної хвилі.

◆ Для високих частот електромагнітного випромінювання в межах наближення Ритова лінійні інтеграли функцій коефіцієнта поглинання електромагнітних хвиль в різних точках поверхності радіолокаційної цілі, піддаваної облученню, описуються розсіяним електромагнітним полем.

Список використаної літератури

1. Кодекс Цивільного захисту України (КЦЗУ) [Електронний ресурс].— Режим доступу: <http://urist-ua.net>
2. Гончаренко, Ю. К. Структура контура управління інформаційною безпекою підприємства / Ю. К. Гончаренко // Економіка і управління.— 2012.— С. 97–101.
3. Гончаренко, Ю. Ю. Оцінка ефективності управління надзвичайною ситуацією / [Ю. Ю. Гончаренко, Е. В. Азаренко, Ю. В. Браславський і др.] // Сб. науч. тр. СНУ.— 2011.— Вип. 2(38).— С. 239–245.
4. Гончаренко, Ю. Ю. Захист інформації як один з ключових аспектів запобігання надзвичайним ситуаціям / Ю. Ю. Гончаренко, Е. Е. Сичков, В. В. Рыбко // Зб. науч. праць СНУ.— 2012.— Вип. 1(41).— С. 207–211.
5. Перов, А. И. Статистическая теория радиотехнических систем: учеб. пособие для вузов.— М.: Радиотехника, 2003.— 400 с.
6. Інформаційні технології в радіотехнічних системах: учеб. пособие — 2-е изд., перераб. и доп. / В. А. Васин, И. Б. Власов и др.; под ред. И. Б. Федорова.— М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.— 768 с.
7. Сосулин, Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: учеб. пособие для вузов.— М.: Радио и связь, 1992.— 304 с.
8. Широков, Ю. Ф. Основы теории радиолокационных систем / Ю. Ф. Широков.— Самара, 2012.— 128 с.

Рецензент: доктор техн. наук, ст. научн. сотрудник **В. С. Наконечный**, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

С. В. Лазаренко

ПІДХОДИ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЦІЛЕЙ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ТЕРОРИСТИЧНОГО ХАРАКТЕРУ

Визначено підходи до розв'язання теоретичної задачі ідентифікації радіолокаційних цілей, здійснюваної для запобігання надзвичайним ситуаціям терористичного характеру на об'єктах критичної інфраструктури.

Дано стислу характеристику радіолокаційних цілей. Показано, що наявність апріорних даних про небезпечну ціль може посприяти істотному скороченню часу ідентифікації виявлених радіолокаційних цілей на тлі помилкових цілей. Розглянуто розв'язання прямої задачі розсіяння електромагнітних хвиль поодинокими об'єктами та встановлено, що результат розв'язання цієї задачі в межах наближення Ритова визначається функцією Ханкеля 1-го роду нульового порядку і параметрами падаючої електромагнітної хвилі.

Ключові слова: надзвичайна ситуація; терористичний акт; електромагнітні хвилі; опромінюваний об'єкт; наближення Ритова.

S. Lazarenko

APPROACHES TO THE SOLUTION OF THE THEORETICAL OBJECTIVE OF IDENTIFICATION OF RADAR OBJECTS FOR INTEREST OF PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS OF TERRORIST CHARACTER

The approaches to solving the theoretical problem of identifying radar targets in the interests of preventing emergency situations of a terrorist nature at critical infrastructure facilities have been determined.

A brief description of the radar targets is given. It is shown that the presence of a priori data on a dangerous target can significantly reduce the time of identification of detected radar targets against a backdrop of false interference. The solution of the direct problem of scattering electromagnetic waves by single objects is considered. The solution of the direct scattering problem in the framework of the Rytov approximation is determined by the Hankel function of the first kind of zero order and the parameters of the incident electromagnetic wave.

Keywords: emergency situation; terrorist act; electromagnetic waves; irradiated object; Rytov approximation.