

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЦЕДУРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МЕСТОПОЛОЖЕНИЙ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Е. Г. ЖИЛЯКОВ
Т. А. ФАДЕЕВА
А. В. ГЛУШАК

*Белгородский
государственный
университет*

e-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

e-mail: fadeeva@bsu.edu.ru

В статье представлена вычислительная процедура восстановления доступных компонент входных воздействий для обработки радиолокационных данных.

Ключевые слова: радиолокационные данные, уравнение Фредгольма первого рода.

В настоящее время новые методы обработки радиолокационных данных привлекают все большее внимание разработчиков. Одной из наиболее сложных задач радиолокации является обнаружение слабоконтрастных радиолокационных объектов. Малая контрастность объектов чаще всего проявляется при радиолокационном сканировании на малых углах подъема антенны, в этом случае сильны сигналы отраженные подстилающими поверхностями, затруднено применение известных энергетических алгоритмов.

Основное двумерное уравнение, используемое при обработке радиолокационных данных имеет вид:

$$S(\theta, t) = \int_t^{t+T_u} \int_{-Q}^Q D(\theta_1) F(\tau - t) R(\theta - \theta_1, \tau) d\theta_1 d\tau + \varepsilon(\theta, t),$$

где: $S(\theta, t)$ – радиолокационные данные; $D(\theta_1)$ – диаграмма направленности; $F(\tau)$ – форма зондирующего импульса; T_u – длительность зондирующего импульса; $R(\theta, \tau)$ – отраженный сигнал; $\varepsilon(\theta, t)$ – мешающие шумы измерений.

Это уравнение можно записать в виде двух интегральных уравнений Фредгольма первого рода:

$$S(\theta, t) = \int_0^{t_{\max}} F(\tau - t) \Phi(\theta, \tau) d\tau + \varepsilon_2(\theta, t), \quad (1)$$

$$\Phi(\theta, \tau) = \int_{-Q}^Q D(\theta_1) R(\theta - \theta_1, \tau) d\theta_1 + \varepsilon_1(\theta, \tau), \quad (2)$$

где $F(\tau) = 0$, при $(\tau < 0) \cup (\tau > T_u)$.

Для решения системы интегральных уравнений (1), (2) предлагается использовать вариационный метод изложенный для одномерного случая в работе [1], который применяется последовательно сначала к одному, а затем к другому уравнению.

Нами разработана и реализована следующая вычислительная процедура.

I – подготовительные вычисления:

1. Вычисление матрицы $A_\theta = \{a_{ij}^\theta\}$:

$$a^{\theta}_{ij} = \int_a^b D(\theta_i, x) D(\theta_j, x) dx, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

2. Вычисление матрицы $A_{\tau} = \{a^{\tau}_{ij}\}$:

$$a^{\tau}_{ij} = \int_c^d F(\tau_i, x) F(\tau_j, x) dx, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

3. Вычисление собственных чисел $L = \{\lambda_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, и соответствующие им собственные векторы $Q = \{\vec{q}_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, матрицы A [2]. Определение количества M ненулевых собственных чисел матрицы A (M определяется экспериментально).

II этап – обработка радиолокационных данных:

1. Нахождение проекции $\vec{\gamma} = \{\gamma_i\}$, $i = 1, 2, \dots, M$, отклика \vec{u} на собственные вектора $\{\vec{q}_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, на основании следующего выражения

$$\gamma_i = (\vec{u}, \vec{q}_i) = \sum_{k=1}^n u_k q_{ki}, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (5)$$

2. Вычисление \tilde{s}_i^2 :

$$\tilde{s}_i^2 = \frac{M}{n - M} |\tilde{s}_{2i} - \tilde{s}_{1i}|,$$

где $\tilde{s}_{1i} = \sum_{j=1}^M \gamma_{ij}^2$, $\tilde{s}_{2i} = \sum_{j=1}^M s_{ij}^2$, $i = 1, 2, \dots, n$.

3. Вычисление величины μ , решая нелинейное уравнение методом Ньютона:

$$\sum_{j=1}^M \frac{\gamma_{ij}^2}{(1 + \mu \lambda_j)^2} = s_i^2, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

4. Находим вектор коэффициентов \vec{p} :

$$p_i = \frac{\gamma_i}{\lambda_i}, \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (7)$$

5. Находим коэффициенты b_k , $k = 1, 2, \dots, n$:

$$\vec{b} = \sum_{i=1}^M p_i \vec{q}_i = \sum_{i=1}^M \frac{\gamma_i}{\lambda_i} \vec{q}_i. \quad (8)$$

6. Значение восстановимого сигнала $f(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, N$, находим на основании следующего выражения

$$f(x_i) = \sum_{k=1}^n b_k \varphi_k(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (7)$$

где

$$\varphi_k(x_i) = D(\theta_k, x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, N.$$

Решение уравнения (2) осуществляется по вычислительной процедуре, описанной выше, в которой в качестве входного сигнала берется уже обработанные данные и начиная со второго этапа считывание информации производится по столбцам матрицы полученной при решении уравнения (1).

С целью иллюстрации работоспособности выше описанной вычислительной процедуры был осуществлен ряд вычислительных экспериментов по восстановлению реальных радиолокационных данных.

Исходные данные, представленные центром радиоэлектроники БелГУ, были получены в результате сканирования земной поверхности с помощью БРЛС. Они включают 86 отчетов по дальности с шагом 24 метра и 228 отчетов по азимуту с шагом 0.35117 в градусах.

В качестве модели использовалась идеальная параболическая антенна с диаграммой направленности

$$D(\theta) = \left(J_1 \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right) / \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right) \right)^2,$$

где J_1 – функция Бесселя первого рода; a – диаметр антенны; λ – длина волны, при этом использовались следующие их значения в относительных единицах: $a=0.65$, $\lambda=0.03$.

График диаграммы направленности приведен на рис. 1. В качестве зондирующего импульса был взят прямоугольный импульс.

Графическое изображение исходного радиоизображения $S(\theta, t)$ изображено на рис. 2.

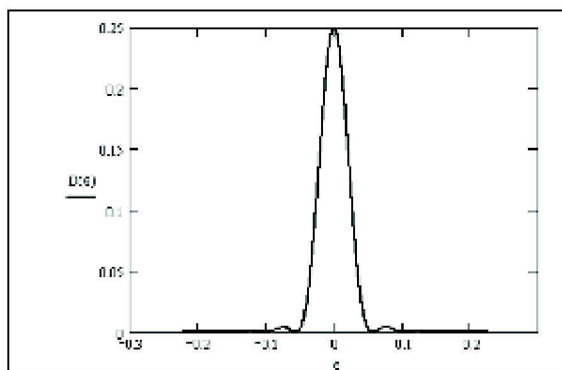


Рис. 1. Диаграмма направленности

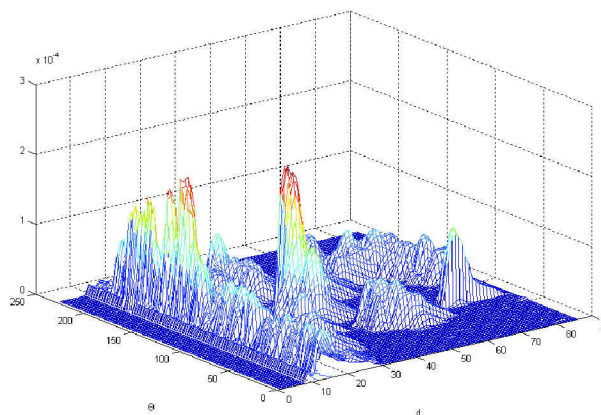


Рис. 2. Полученное радиоизображение (d – ось по дальности, θ – ось по углу)

Результат восстановления радиолокационных данных по дальности изображен на рис. 3.

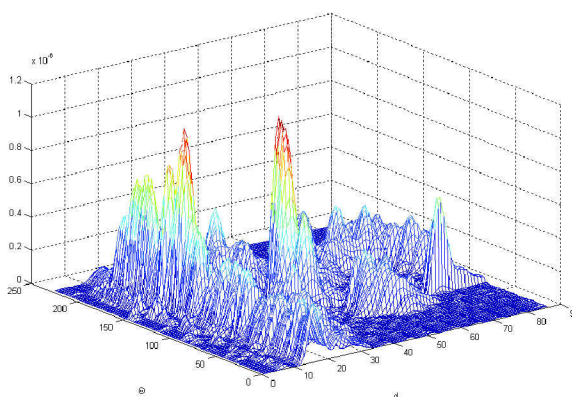
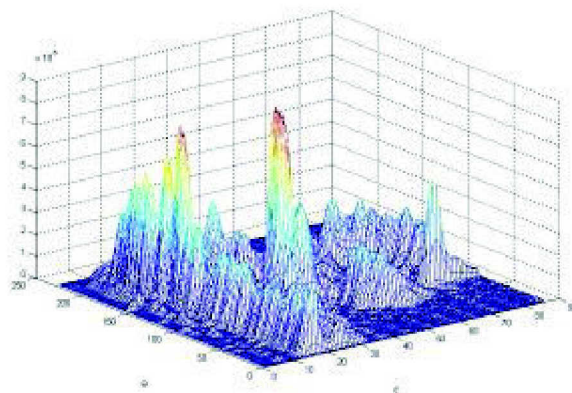


Рис.3. Обработки радиолокационных данных по дальности (d – ось по дальности, θ – ось по углу)

Далее осуществлялась восстановление полученной матрицы по углу (рис. 4).

Рис. 4. Восстановление по углу после восстановления по дальности
(d – ось по дальности,
 θ – ось по углу)



На рис. 5 и 6 изображены сечения результата восстановления исходного радиоизображения и исходных данных.

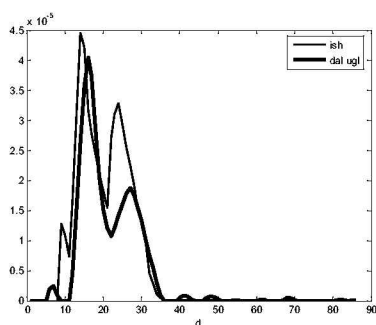


Рис. 5. Сечение по углу радиолокационных данных и результат восстановления при $n=35$

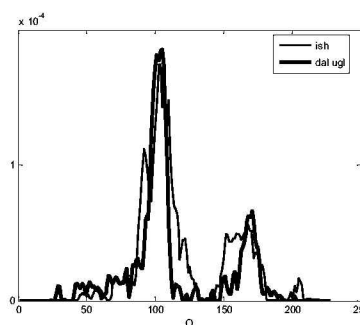


Рис. 6. Сечение по дальности радиолокационных данных и результат восстановления при $n=35$

ish – исходное радиоизображение
dal_ugl – восстановление по углу после восстановления по дальности

По результатам эксперимента можно сказать, что пики становятся более выраженные, отдельно стоящие, что свидетельствует об эффективности использования метода восстановления доступных компонент входных сигналов для повышения разрешающей способности радиолокационных измерений.

Литература

1. Жилияков, Е.Г. Вариационные методы анализа и построения функций по эмпирическим данным [Моногр.] / Е.Г. Жилияков. Белгород: Изд-во БелГУ, 2007. – 160 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука.

THE COMPUTATIONAL PROCEDURE OF DATA PROCESSING OF THE RADAR MEASUREMENTS OF LOCATIONS OF GROUND OBJECTS TO INCREASE THEIR RESOLVING POWER

E. G. ZHILYAKOV
T. A. FADEEVA
A. V. GLUSHAK

Belgorod State University

e-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

e-mail: fadeeva@bsu.edu.ru

The article presents a for the restoration of available components input actions for processing radar data.

Key words: radar data, the equation of the first kind Fredholm, the computational procedure.