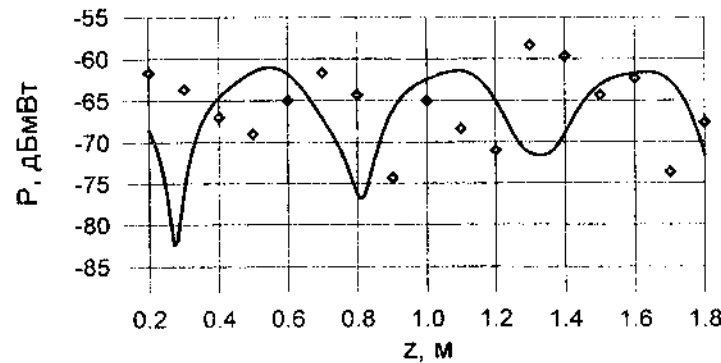
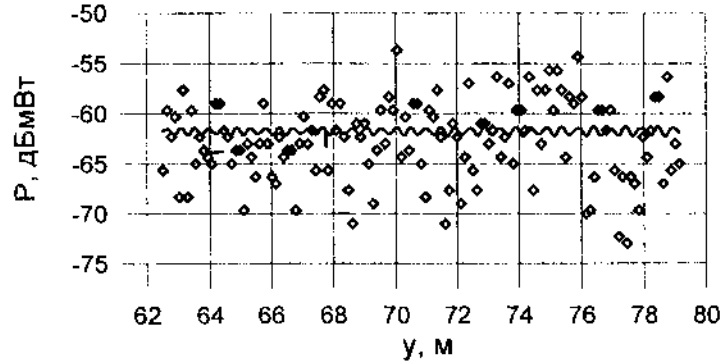
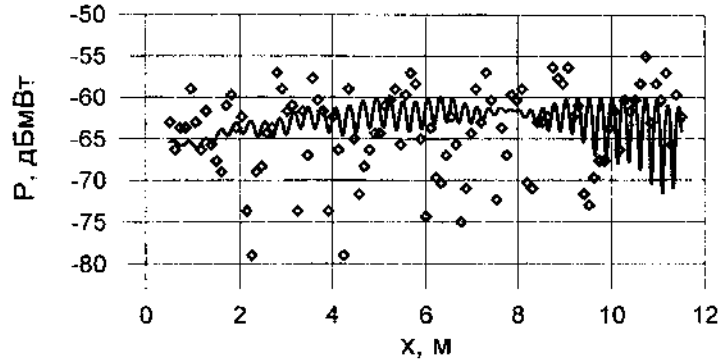


На основе сравнения расчетных и экспериментальных данных сделан вывод о возможности применения разработанной модели радиотрассы и алгоритма ее расчета для прогнозирования напряженности электромагнитного поля от произвольного источника в условиях сложной городской застройки. Применение алгоритма совместно с электронной картой местности позволит решать не только задачи расчета зоны покрытия базовой станции, но и вопросы электромагнитной совместимости и ряд других смежных задач.



Литература

1. Березина Л.Н., Пивень И.В. Моделирование распространения радиоволн для городской радиосвязи // Теория и техника радиосвязи. 1993. № 2.
2. Maciel L.R., Bertoni H.L., Xia H.H. Unified approach to prediction of propagation over buildings for all ranges of base station antenna height // IEEE Trans. Veh. Technol. 1993. 42. № 1.
3. Ashok Ranade. Local access radio interference due to building reflections // IEEE Transactions on Communications. 1989. 37. № 1.
4. Neve M.J., Rowe G.B. Mobile radio propagation in irregular cellular topographies using ray methods // IEE Microwaves, Antennas and Propagat. 1995. 142. № 6.
5. Brown P.G., Constantinou C.C. Investigation on the prediction of radiowave propagation in urban microcell environments using ray-tracing methods // IEE Microwaves, Antennas and Propagat. 1996. 143. № 1.
6. Пономарев Г.А., Тельпуховский Е.Д. Распространение УКВ в городе. Томск: МП «Раско». 1991.
7. Варакин Л.Е. Статистическая модель многолучевого распространения УКВ в городе // Радиотехника. 1989. № 12.
8. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 1980. 29. № 3.
9. Панченко В.Е., Гайнутдинов Т.А., Ерохин Г.А., Кочержевский В.Г., Шорин Г.А. Сочетание статистических и детерминистских методов расчета радиополя в городских условиях // Электросвязь. 1998. № 4.

Баев А.Б., Кузнецов Ю.В.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ РЕЗОНАНСНОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННОГО НА СТАТИСТИКАХ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА

В работе [2] было показано, что наиболее приемлемой для решения задачи идентификации объектов по их собственным резонансным излучениям является резонансная модель рассеяния, основанная на методе сингулярных разложений. Для оценивания параметров такой модели, представляющей сумму затухающих синусоид, используются различные алгоритмы, которые в общем случае делятся на линейные и нелинейные. Наибольшее распространение получил метод Прони, осуществляющий аппроксимацию данных с использованием детерминированной экспоненциальной модели. Этот метод был подробно исследован, а результаты исследований представлены в [2]. Мы убедились, что метод Прони перестает работать при малых отношениях сигнал/шум. Для повышения точности оценивания параметров резонансной модели объектов при малых отношениях сигнал/шум могут быть использованы статистики высокого порядка (СВП).

Основными предпосылками для использования СВП при оценивании параметров резонансной модели является следующее:

- кумулянты (выше второго порядка) для окрашенных гауссовских процессов равны нулю;
- кумулянты от негауссовских процессов несут информацию в виде статистик высокого порядка рассматриваемого сигнала;
- кумулянты являются статистиками, чувствительными к фазе.

Основной целью данной работы является исследование и развитие алгоритма оценки параметров резонансных моделей объектов на основе метода Прони с использованием статистик высокого порядка.

Представим исследуемый сигнал в следующем виде [1]:

$$y_k = x_k + n_k = \sum_{l=1}^M |b_l| \exp[(\alpha_l + j\omega_l)k + j\phi_l] + n_k, \quad (1)$$

где $k = 0, 1, \dots, N-1$ – номера отсчетов сигнала, N – число отсчетов данных, M – порядок резонансной модели, n_k – отсчеты шума, $|b_l|$, ϕ_l , α_l и ω_l – амплитуды, фазы, коэффициенты затухания и частоты компонент сигнала.

На первом этапе алгоритма оценки параметров резонансной модели с использованием статистик высокого порядка оцениваются кумулянты третьего порядка исследуемого сигнала.

$$R_y(m, n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y_k \cdot y_{k+m}^* \cdot y_{k+n}^*, \quad (2)$$

где “*” – комплексное сопряжение.

Далее формируется система линейных уравнений: $R_y \times a' = -r_y$, (3)

где $a' = (1 \ a_{k,1} \ a_{k,2} \ \dots \ a_0)^T$ – коэффициенты авторегрессионной модели сигнала x_k (1), r_y – вектор элементов сечений кумулянтов (2) размерности $K \times 1$.

Решение линейной системы (3) по критерию минимума нормы задается следующим выражением [4]:

$$a' = ((R_y)^H \times R_y)^{-1} \times (R_y)^H \times r_y, \quad (4)$$

где H – комплексное сопряжение и транспонирование.

На заключительном этапе определяются оценки полюсов z_i путем факторизации полинома $A(z) = \sum_{i=0}^K a'_i z^{-i}$

В качестве модели исследуемого сигнала нами использовалась аддитивная смесь трех затухающих синусоид и гауссовского шума, ограниченного по полюсе. Уровень шума задавался величиной дисперсии. Отношение сигнал/шум при этом оценивалось по формуле:

$$SNR = 10 \cdot \lg \frac{M\{x_k^2\}}{M\{n_k^2\}}, \quad (5)$$

где $M(\bullet)$ – математическое ожидание.

В процессе проведения экспериментальных исследований было выбрано наиболее информативное сечение последовательности кумулянтов третьего порядка, которое оценивалось по формуле (2). Критерием для выбора сечения была точность оценки полюсов.

Далее с целью сравнения на количественной основе эффективности различных методов цифровой обработки оценивалась дисперсия полюсов:

$$\gamma_{z_i} = \sum_{n=1}^N \frac{|z_{i,n} - z_i|}{\alpha_i} / N, \quad (6)$$

где z_i – i -й полюс сигнала, $z_{i,n}$ – полюс, определенный в результате n -го опыта, α_i – коэффициент затухания i -го полюса, N – число опытов, в каждом из которых генерировался новый шум.

Отношение сигнал/шум изменялось в пределах от -2 до 18 дБ. Полученные зависимости для метода на основе СВП представлены на рис. 1, а зависимость дисперсии низкочастотного полюса от отношения сигнал/шум для двух методов представлена на рис. 2.

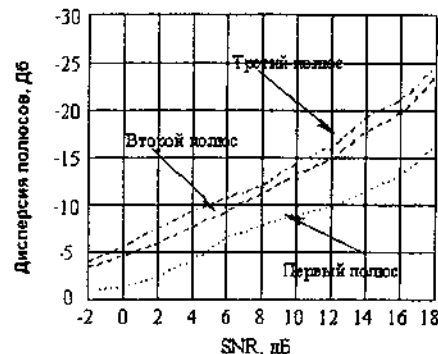


Рис. 1. Зависимость дисперсии полюсов от SNR для метода, основанного на СВП

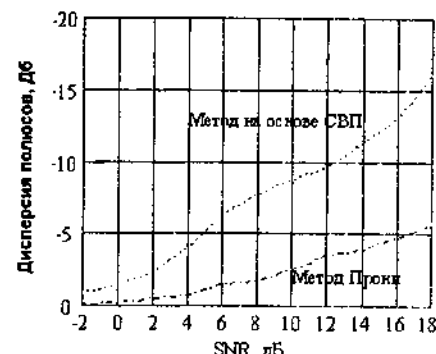


Рис. 2. Зависимость дисперсии низкочастотного полюса от SNR

На основании иллюстрируемых рис. 2 зависимостей можно сделать вывод о том, что точность определения низкочастотного полюса ниже, чем у высокочастотного, и увеличивается при увеличении отношения сигнал/шум практически линейно. Из рис. 2 видно, что использование статистик высокого порядка позволяет улучшить качество оценивания полюсов резонансной модели на $5-7$ дБ и снизить порог работоспособности методов до отношения сигнал/шум $SNR = 2$ дБ.

Литература

1. С.Л. Марпл-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. - М.: МИР, 1990.
2. Кузнецов Ю.В., Щекатуров В.Ю., Баев А.Б. Сравнительная характеристика алгоритмов оценки параметров резонансной модели объектов // Вестник МАИ. 1997. т. 4, №2.
3. Х.Л. Никхас и М.Р. Рагувер. Биспектральное оценивание применительно к цифровой обработке сигналов // ТИИЭР. 1987. т. 75, № 7.
4. D.R. Brillinger. An Introduction to Polyspectra. Ann. Math. Statist., Vol. 36. pp. 1351-1374, 1965.