

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ОБСТАНОВКИ З УРАХУВАННЯМ ЕФЕКТІВ КВАНТУВАННЯ

Для тестування алгоритмів цифрового оброблення сигналів, а також підготовки фахівців за радіотехнічними спеціальностями виникає завдання моделювання складної радіоелектронної обстановки (РЕО) [1]. Особливістю такої РЕО є наявність у заданій смузі частот великої кількості сигналів із різними видами модуляції та технологіями розширення спектра, потужності яких змінюються у широкому динамічному діапазоні. Перед оцінюванням параметрів, розпізнаванням типу модуляції та демодуляції, прийняті сигнали підлягають аналого-цифровому перетворенню (АЦП). В процесі такого перетворення сигнал підлягає процедурі квантування, що визначає точність та динамічний діапазон представлення сигналів.

При представленні чисел у двійковому форматі з фіксованою комою ключовим параметром є кількість біт b в слові. Для забезпечення відповідності змодельованого сигналу реальному сигналу з виходу АЦП конкретного приймача необхідно враховувати його розрядність. Найбільш поширені програмно визначені приймачі мають АЦП з такими розрядностями: HackRF One та RTL-SDR – 8 біт, bladeRF – 12 біт, USRP – 14 біт.

Відношення сигнал-шум (ВСШ) ідеального АЦП в дБ можна розрахувати відповідно до такого виразу [2]:

$$SNR = 6,02b + 4,77 + 20lg(LF), \quad (1)$$

де перший доданок відповідає динамічному діапазону АЦП, а LF – коефіцієнт використання, що розраховується як:

$$LF = \sigma_s / V_p, \quad (2)$$

де σ_s – середньоквадратичне значення вхідного сигналу;

V_p – максимальне значення напруги АЦП.

Відповідно до виразу (1) максимальне значення ВСШ складатиме $(6,02b + 1,76)$ дБ. Реальні АЦП з урахуванням додаткових джерел шуму мають значення ВСШ на 3-6 дБ нижче, ніж розраховані за виразом (1).

Для моделювання сигнальної суміші, що створена складною РЕО, з урахуванням розрядності АЦП, основними вихідними параметрами є кількість сигналів у заданій смузі частот N та ВСШ для кожного сигналу SNR_i . Тоді модель k -го прийнятого відліку адитивної суміші можна записати в такому вигляді:

$$x_k = \sum_{i=1}^N s_{ik} + \xi_k, \quad (3)$$

де s_{ik} – відлік i -го сигналу; ξ_k – відлік білого гаусівського шуму.

При побудові моделі складної РЕО із використанням двійкового формату максимальне значення напруги АЦП складатиме $V_p = 2^{b-1} - 1$. Для представлення шумових відліків достатньо використовувати числа від -10 до 10, тоді $\sigma_\xi \approx 3,3$. Для заданого ВСШ середньоквадратичне значення вхідного сигналу можна обчислити за таким виразом:

$$\sigma_{s_i} = \sigma_\xi 10^{\frac{SNR_i}{20}}. \quad (4)$$

Для забезпечення коректного відображення моделі РЕО необхідно виконувати таку умову щодо значень ВСШ складових:

$$\sum_{i=1}^N SNR_i < 6,02b + 1,76. \quad (5)$$

Запропонований підхід до моделювання складної РЕО забезпечить представлення сигнальної суміші в межах динамічного діапазону конкретного АЦП без спотворення форми сигналів.

Список використаних джерел

1. Бугайов М. В. та ін. Реалізація підходів до імітування динамічної радіоелектронної обстановки в широкій смузі частот // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. праць. Житомир: ЖВІ, 2021. Вип. 21. С. 4-15. DOI: 10.46972/2076-1546.2021.21.01
2. Lyons R. G. Understanding Digital Signal Processing: 3rd ed. Prentice Hall, 2011. 858 p.