

## **МОДЕЛЬ ДЖЕЙКСА ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ГУСТИНИ ПОТУЖНОСТІ І ДОППЛЕРІВСЬКОГО СПЕКТРУ ПРОЦЕСУ ЗАВМИРАННЯ**

*Мирончук О. Ю.; Шпилька О. О., к. т. н.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

Одним з найважливіших етапів роботи систем бездротового зв'язку з високою швидкістю передачі даних є оцінка характеристики каналу. Вона являє собою процес отримання інформації про стан каналу, яка необхідна для точної демодуляції даних. Точність оцінки поточного стану каналу має велике значення для систем, в яких використовуються модуляції високих порядків, і є однією з основних проблем в системах бездротового зв'язку на основі OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) [1].

Для оцінки характеристики каналу зв'язку розроблено ряд методів, які застосовуються при різних умовах роботи системи зв'язку та мають свої переваги і недоліки. Методи оцінки параметрів каналу зв'язку поділяються на два класи: ті, що використовують апріорі відомі приймачу пілотні сигнали (pilot assisted channel estimation) і ті, що працюють без апріорі відомої інформації про переданий сигнал та мають назву «сліпі» (blind estimation). Значна кількість якісних методів використовують кореляційні характеристики каналів зв'язку. При розробці методів оцінювання важливо мати модель, яка б найточніше описувала вплив фізичних явищ і процесів на сигнал, що розповсюджується в каналі зв'язку.

Внаслідок відбиття, дифракції і розсіювання радіохвиль від різних перешкод на шляху поширення радіохвиль відбувається завмирання на певних частотах. До того ж, коли приймач та/або передавач рухаються один відносно одного, сигнал зазнає впливу ефекту Допплера, що призводить до постійної зміни частотної характеристики каналу. Причому, чим більша відносна швидкість між передавачем та приймачем, тим швидше змінюється частотна характеристика [2].

Якщо сигнал під час проходження через канал зазнає впливу ефекту Допплера і явища багатопроменевого поширення, при чому прямий шлях поширення радіохвиль від передавача до приймача відсутній, то такий канал називається каналом Релея.

Для опису спектральної густини потужності і Допплерівського спектру процесу завмирання в каналі Релея використовується модель Джейкса [3]. Згідно моделі Джейкса, Допплерівська спектральна густина потужності виражається за виразом

$$S(f) = \frac{1}{\pi f_d \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_d}\right)^2}}, \quad |f| \leq f_d \quad (1)$$

де  $f_d$  - максимальна частота Допплера.

В свою чергу, значення кореляційної функції частотної характеристики каналу зв'язку визначається як

$$r_{k,l}[m] = E\{H_k[n]H_l^*[n-m]\} = J_0(2\pi f_d m T) \frac{1 - j2\pi(l-k)\sigma_t / T}{1 + 4\pi^2(l-k)^2 \sigma_t^2 / T^2} \quad (2)$$

де  $H_k[n]$  - комплексний коефіцієнт частотної характеристики каналу зв'язку;  $\sigma_t$  - максимальна затримка променя в каналі поширення;  $T$  - тривалість OFDM символу;  $J_0(.)$  - функція Бесселя нульового порядку;  $k, l$  - індекси підносійних в OFDM символі;  $n, m$  - індекси OFDM символів.

Нами розроблене програмне забезпечення, яке виконує спотворення сигналу, що відповідають каналу зв'язку Релея зі спектром Допплера, який описується виразом (1). Аналіз виразу (2) показує, що кореляційна функція між OFDM символами на фіксованій підносійній ( $k = l$ ) реальна і описується функцією Бесселя нульового порядку. Кореляційна функція між підносійними в зафіксованому OFDM символі ( $n = m$ ) є комплексною.

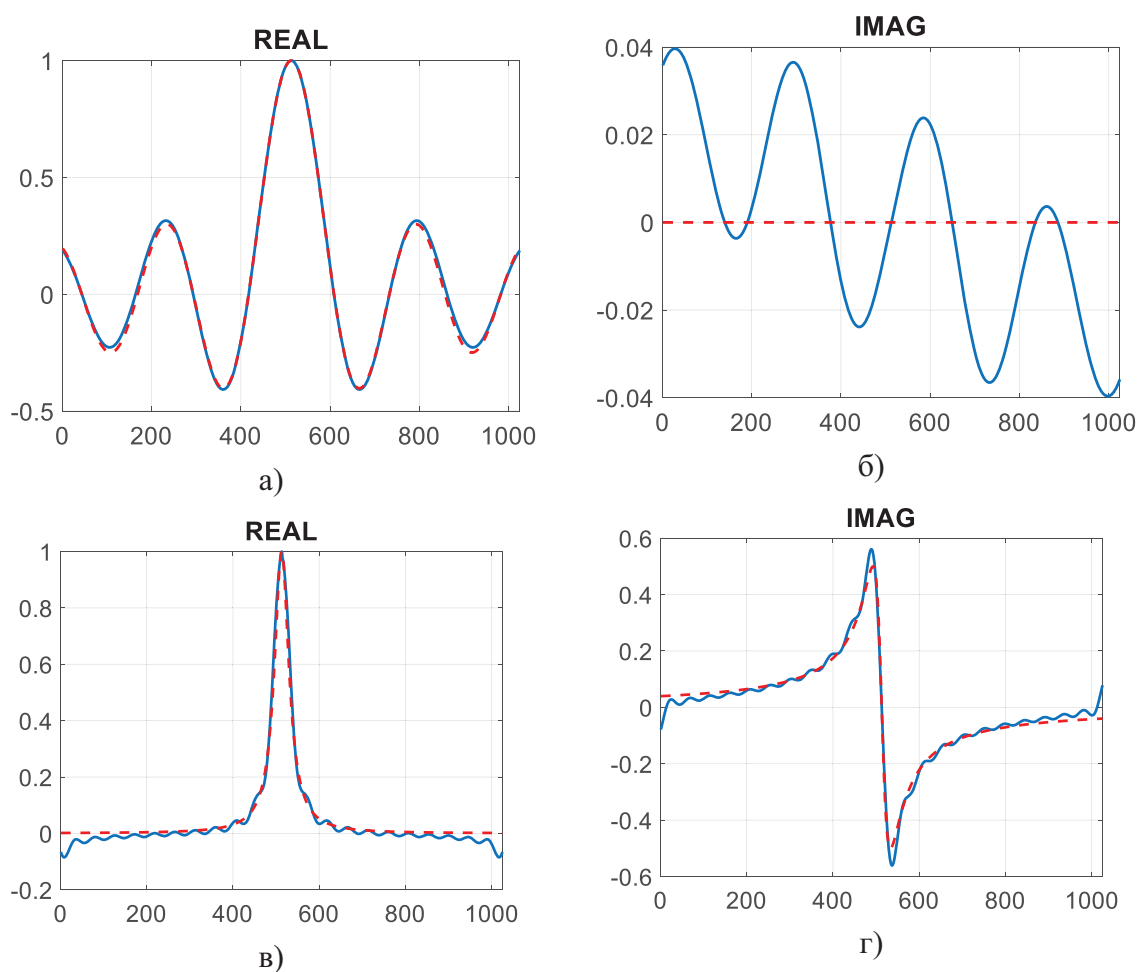


Рисунок 1. Кореляційна функція

На Рис. 1 представлено кореляційну функцію каналу зв'язку, змодельованого розробленим програмним забезпеченням. Пунктирна лінія відображає теоретичні значення, розраховані за формулою (2); суцільна лінія відображає значення, отримані в результаті моделювання. Рис. 1а та Рис. 1б відображають дійсну та уявну частини кореляційної функції між OFDM символами на фіксованій підносійній. На Рис. 1в та Рис. 1г представлено дійсну та уявну частини кореляційної функції між підносійними в OFDM символі.

Моделювання проводилося з наступними параметрами: кількість OFDM символів – 512; кількість підносійних в OFDM символі – 512; розмір циклічного префіксу – 1/4; Допплерівський зсув – 100 Гц; кількість променів поширення сигналу – 20. Як показують результати моделювання, кореляційні характеристики каналу, утвореного за допомогою створеного програмного забезпечення, відповідають теоретичним кривим (2).

### **Перелік посилань**

1. Proakis J.G. Digital communications / J.G.Proakis. — McGraw-Hill, New York, 1983
2. Tzi-Dar Chiueh, Pei-Yun Tsai, I-Wei Lai, Baseband Receiver Design for Wireless MIMO-OFDM Communications Second Edition, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd. 2012.
3. Wei Chen and Ruifeng Zhang, "Kalman-Filter Channel Estimator for OFDM Systems In Time and Frequency-Selective Fading Environment", 0-7803-8484-9/04 IEEE 2004 ICASSP 2004.

### **Анотація**

Розглянуто модель Джейкса для спектральної густини потужності і Допплерівського спектру процесу завмирання в каналі Релея. Запропоновано програмне забезпечення, яке виконує спотворення сигналу, що відповідають каналу зв'язку Релея зі спектром Допплера відповідно до моделі Джейкса.

**Ключові слова:** OFDM, канал зв'язку Релея, модель Джейкса, Допплерівський спектр.

### **Аннотация**

Рассмотрено модель Джейкса для спектральной плотности мощности и Допплеровского спектра процесса затухания в канале Релея. Предложено программное обеспечение, которое выполняет искажения сигнала, что соответствуют каналу связи Релея со спектром Допплера в соответствии с моделью Джейкса.

**Ключевые слова:** OFDM, канал связи Релея, модель Джейкса, Допплеровский спектр.

### **Abstract**

Jakes' model for the power spectral density and Doppler spectrum of the fading process in the Rayleigh channel was considered. Software that performs signal distortion, which corresponds to the Rayleigh communication channel with the Doppler spectrum in accordance with the Jakes model is proposed.

**Keywords:** OFDM, Rayleigh channel, Jakes's model, Doppler spectrum.