

Д.І. Бахтіяров, к.т.н., О.Ю. Лавриненко, к.т.н., В.Є. Курушкін, к.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

Комп'ютерне моделювання захищеного каналу передавання даних корисного навантаження у напрямку «БПЛА – Земля»

Комп'ютерне моделювання захищеного каналу передавання даних корисного навантаження з борту БПЛА на Землю було проведено з використанням блочного алгоритму криптографічних перетворень стандарту ДСТУ ГОСТ 28147-2009 та завадостійкого кодування за допомогою коду Ріда-Соломона.

Умови проведення експерименту.

Для застосування у польових умовах було створено середовище для комп'ютерного моделювання. Найбільш завадостійкий вид модуляції до адитивного білого Гаусового шуму - COFDM з використанням QAM-16 та QAM-256 - був обраний для частоти каналу зв'язку 2,4 ГГц. Для передачі даних було використано відеопотік зі специфікаціями: роздільна здатність 854 x 480 пікселів; діапазон бітрейту відеопотоку від 500 до 2000 кілобітів на секунду.

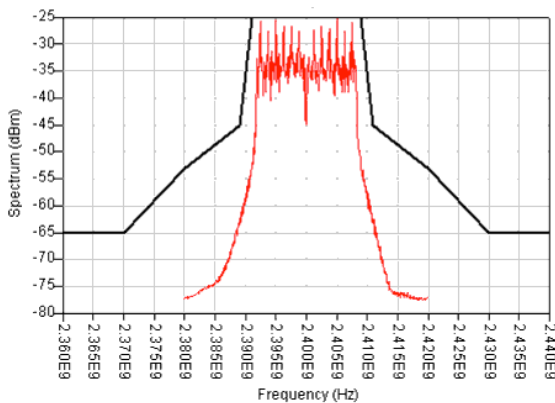


Рис. 1. Зображення сигналу відеопотоку

Проведення експерименту.

Початковою дією при моделюванні є виконання схеми шифрування за алгоритмом ГОСТ 28147-2009. Основною складовою криптографічного перетворення є оператор, що здійснює перетворення 64-бітового блоку даних. Для виконання цього оператора необхідний додатковий параметр - 32-бітовий блок, який відповідає елементу ключа. Після шифрування, наступним кроком моделювання є процес завадостійкого кодування зашифрованих даних, що були перетворені з матричного вигляду в цифровий вектор. Дану операцію здійснюємо застосовуючи код Ріда-Соломона, що широко використовується для

відновлення даних з компакт-дисків, створення архівів з інформацією для відновлення в разі їх ушкодження.

Спочатку було створено модель ідеального каналу зв'язку для кожного режиму модуляції. Далі були отримані наступні дані.

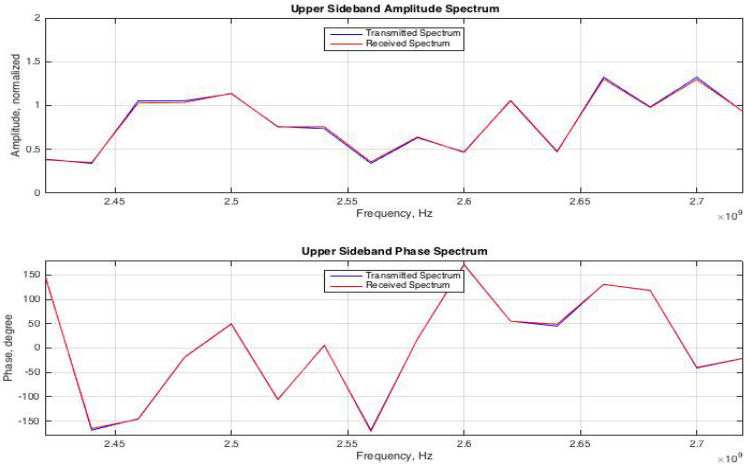


Рис. 2. Спектри сигналу в ідеальному каналі зв'язку

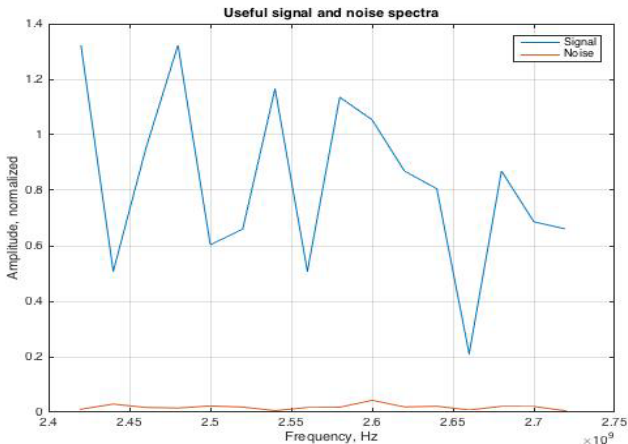


Рис. 3. Співвідношення сигнал/шум в ідеальному каналі зв'язку

У моделюванні з використанням QAM-256 було використано співвідношення сигнал/шум (SNR) 28 дБ, що спричинило 7 помилок, які не було можливо виправити. Отримані результати моделювання: symbol-error rate (SER) - 0.0022859%; bit-error rate (BER) - 0.005225%.

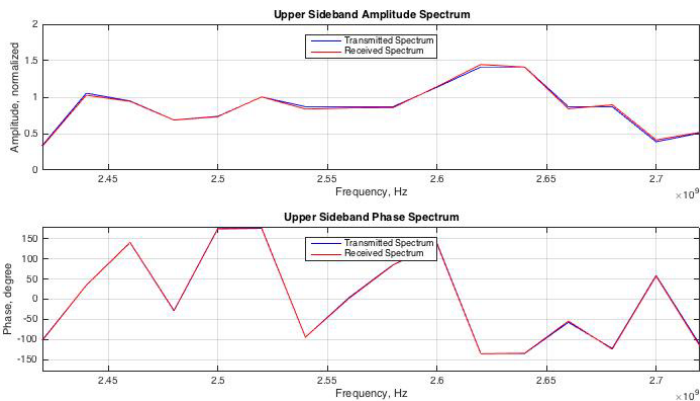


Рис. 4. Спектри сигналу в каналі QAM-256, RNR 28 дБ

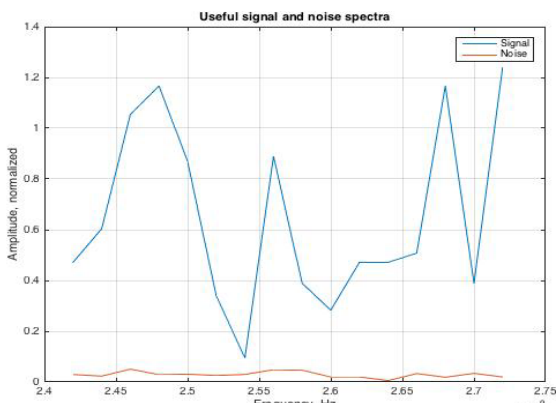


Рис. 5. Співвідношення сигнал/шум сигналу в каналі QAM-256, SNR 28 дБ

На рис. 4.24 зображено порівняння вхідних та вихідних відео зображень (QAM-256, SNR 28 дБ).



а) б)

Рис. 6. Порівняння вхідних та вихідних відео зображень (QAM-256, SNR 28 дБ):
а) вхідне зображення; б) вихідне зображення

Моделювання проводилось для QAM 256 та QAM 16 з різними показниками співвідношення сигнал/шум. Результати моделювання представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

	QAM-256, SNR 28 дБ	QAM-256, SNR 25 дБ	QAM-16, SNR 28 дБ	QAM-16, SNR 25 дБ
SER (%)	0.0022859	0.020573	0.027758	0.12117
BER (%)	0.005225	0.029717	0.038861	0.1571
Кількість помилок, що не можна виправити	7	63	85	371

Висновок. Було створено комп'ютерну модель, що описує процес передачі відеосигналу з COFDM-модуляцією з БПЛА на НПУ. Модель включає в себе блочний алгоритм криптографічних перетворень згідно стандарту ДСТУ ГОСТ 28147-2009 для забезпечення безпеки передачі, а також завадостійке кодування за допомогою коду Ріда-Соломона та модуляції QAM-16 та QAM-256.

Список літератури

1. Бахтіяров Д. І., Конахович Г. Ф., Лавриненко О. Ю. Комп'ютерне моделювання захищеного каналу керування безпілотним літальним апаратом. Наукоємні технології. 2015. Т. 28. №. 4. С. 283-290.
2. Бахтіяров Д. І. Дослідження мультиплексованого сигналу керування безпілотними літальними апаратами. Collection" Information technology and security". 2015. Т. 3. №. 2. С. 152-159.
3. Бахтіяров Д. І., Луцький М. В. Моделювання захищеного каналу керування безпілотним літальним апаратом. Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем: матеріали наук.-практ. конф., м. Київ, 2 – 4 чер. 2015 р., 2015. ТОВ «Центр учбової літератури», 2015. С. 112–113.
4. Bakhtiarov D. I., Kozliuk I. O., Lavrynenko O. Y., Tretiak I. V. Problems of unauthorized interference to the work of UAV and methods of its solving. Science-based technologies. 2016. Т. 30. №. 2. Р. 206-211.
5. Bakhtiarov D., Lavrynenko O., Konakhovych G. Protected System of Radio Control of Unmanned Aerial Vehicle. IEEE 4th Conference "Methods and Systems of Navigation and Motion Control": materials Intern. sc. conf., Kyiv, Oct. 18-20 2016. 2016. Р. 196–199.