

Якщо система втрачає певну кількість дронів, вона все одно зберігає стійкість, яка забезпечується її здатністю до самоорганізації. На наступному рисунку показано стан системи коли вона втратила приблизно 20% елементів (вибраних випадковим чином):

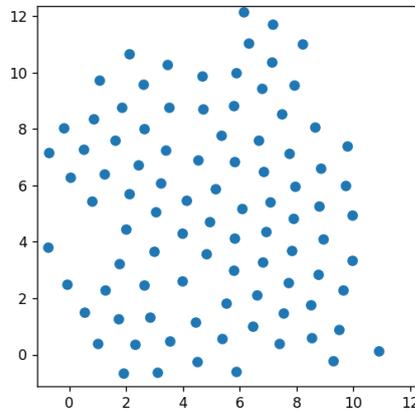


Рис. 3. Конфігурація системи, яка втратила близько 20% елементів

Звичайно, вибір саме потенціалу Леннарда-Джонса не є принциповим. Можна зробити його простішим, забезпечивши лише сталі ефективне притягання для відстаней більших за характеру відстань a і ефективне відштовхування для відстаней менших за a .

Як бачимо, комп'ютерне моделювання поведінки системи дронів, які взаємодіють між собою на невеликих відстанях, показує стійкість системи перед втратою доволі великого числа окремих елементів. При цьому малі відстані передачі сигналів можуть бути суттєвою перевагою, коли йдеться про протидію засобам радіоелектронної боротьби.

Список літератури

1. Шкітов А. А. Методи захисту радіоканалів БПЛА від несанкціонованого доступу. Збірник наукових праць «Управління розвитком складних систем» Київського національного університету будівництва і архітектури. Номер 59, 2024. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.242-247>
2. Вілігурський О. (2025) Деякі способи протидії системи безпілотних літальних апаратів засобам радіоелектронної боротьби. Фізика та освітні технології, (2), 3–7. <https://doi.org/10.32782/pet-2025-2-1>

ПРОСТИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ПРИКЛАД ВИКОРИСТАННЯ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є ДЛЯ ПРИХОВУВАННЯ ТЕКСТОВОГО ПОВІДОМЛЕННЯ В ЗВУКОВОМУ СИГНАЛІ

Головін М.Б., Головіна Н.А., Гузачов Д.М.

ВНУ імені Лесі Українки, Holovina.Nina@vnu.edu.ua

Сучасні методи стеганографії дозволяють приховувати інформацію у цифрових медіа, таких як зображення, аудіо та відео, без помітної зміни їх властивостей. Одним із ефективних способів приховування текстових повідомлень у звукових сигналах є використання швидкого перетворення Фур'є (FFT, Fast Fourier Transform) [1-3].

FFT дозволяє представити звуковий сигнал у частотній області, розділивши його на окремі синусоїдальні компоненти з визначеною амплітудою та фазою. Важливо, що зміни фази спектра практично не впливають на слухове сприйняття аудіо, що робить її оптимальним каналом для приховування інформації.

У цьому дослідженні розглядається метод вбудовування текстових повідомлень у фазу спектра WAV-файлів. Використання FFT та IFFT дозволяє перетворювати сигнал у частотну область, модифікувати фазові компоненти для кодування бітів повідомлення і повернути сигнал у часову область без значної втрати якості звуку. Такий підхід забезпечує високу прихованість, простоту реалізації та відносну стійкість до цифрової обробки аудіо.

Метою даної роботи є демонстрація практичної реалізації стеганографії на основі FFT для аудіосигналів та оцінка її ефективності у приховуванні текстової інформації.

Впровадження повідомлення має кілька наступних етапів.

Перший етап полягає в підготовці повідомлення для впровадження. Впродовж цього етапу текст конвертується у двійковий код по 8 біт на символ. Це можна реалізувати наступним виразом: `bits = ".join(format(ord(c), '08b') for c in message)`.

Далі, на другому етапі, відбувається зчитування аудіо і підготовка сигналу для впровадження в нього тексту. Це реалізується рядком:

```
data, samplerate = sf.read(input_audio)
```

Тут використовується бібліотека `soundfile` для читання WAV файлів. Якщо аудіо стерео, береться лише один канал. Це спрощує реалізацію і зменшує обсяг обчислень.

На третьому етапі, відбувається швидке перетворення Фур'є впродовж якого реалізується перетворення сигналу у частотну область з використанням відомої бібліотеки `numpy`:

```
spectrum = np.fft.fft(data)
```

Визначаються амплітуди частот і їх фази:

```
magnitude = np.abs(spectrum); phase = np.angle(spectrum)
```

Амплітуди частот (`magnitude`) залишаються незмінними. Фази частот (`phase`) змінюються для вбудовування бітів повідомлення в циклі, що перебирає частоти і біти тексту. Тоді вбудовування текстового повідомлення в звукову хвилю може відбутись досить просто. Якщо черговий біт тексту дорівнює 1, встановлюємо фазу чергової частоти $+\pi/2$ і симетричну фазу наступним чином:

```
if bit == '1': phase[k] = np.pi/2; phase[N - k] = -np.pi/2
```

Якщо ж черговий біт тексту дорівнює 0, встановлюємо фазу чергової частоти $-\pi/2$ і симетричну фазу.

```
else: phase[k] = -np.pi/2; phase[N - k] = np.pi/2
```

У програмі реалізується симетричне відображення фаз (N кількість гармонічних складових спектру). Симетричне відображення фаз гарантує, що після зворотного FFT сигнал буде дійсним. Останній, п'ятий етап полягає в зворотному перетворенні Фур'є (IFFT) і відповідно синтезі нової звукової хвилі.

Процеси обробки звукової хвилі при видаленні тексту зі звуку відбувається аналогічно впровадженню.

Спочатку тут відбувається зчитування і підготовка аудіо. Використовується той самий WAV файл, що був створений стеганографічним методом. Далі, Фур'є перетворення у спектр. Визначається фаза кожної частоти, в якій і приховано повідомлення. Якщо фаза чергової частоти $+\pi/2$, то в кінець бітового текстового файлу додається 1, якщо ж фаза $-\pi/2$, то додається 0. Після завершення формування текстового файлу в бітовому представленні він трансформується в байтовий формат і стає доступним для перегляду в звичайному текстовому редакторі.

Висновки

- Використання швидкого перетворення Фур'є для приховування текстового повідомлення в звуковому сигналі ефективно приховує повідомлення без помітної зміни звуку. Декодер надійно відновлює прихований текст, використовуючи фазові характеристики спектра, забезпечує простоту та стійкість алгоритму.

- Експерименти з програмою показали, що метод мінімально впливає на слухові характеристики. Це зрозуміло, адже, людське вухо нечутливе до дрібних фазових змін.
- Метод має обмеження, адже, найкраще працює для коротких повідомлень, оскільки FFT накладає обмеження на кількість доступних частотних компонент для кодування.
- Метод чутливий до обробки аудіо: якщо WAV файл буде конвертовано у стислий формат (MP3) або відфільтровано, фазові дані можуть бути змінені, і декодування буде некоректним.
- Переваги: метод простий, легко реалізується в Python, і звук залишається практично незмінним.

Література

1. S. Rekik, D. Guerchi, S.-A. Selouani and H. Hamam, Speech steganography using wavelet and Fourier transforms, *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, vol. 2012, article 20, 2012.
2. V. Vijayabhaser, S. Munasa D. and S. Gadari, Speech steganography using DWT and FFT, *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, vol. 10, no. 1, pp. 308–313, 2019.
3. I. Bilal and R. Kumar, Audio steganography using QR decomposition and Fast Fourier Transform, *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, issue 34, 2015.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗЕЛЕНОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ

Голуб С.М.

Волинський національний університет імені Лесі Українки
sgolub10@gmail.com

Розвиток зеленого туризму в Україні є надзвичайно актуальним, адже він пов'язаний із необхідністю швидкого вирішення соціально-економічних проблем сучасного села. На нинішньому етапі економічного та культурного розвитку держава визначає туризм одним із пріоритетних напрямів. Чинні стандарти туристичної галузі створюють передумови для формування цивілізованого ринку з різноманітними та якісними послугами. Водночас забезпечення високого рівня сервісу у сфері сільського туризму залишається серйозним викликом.

Питання стабільного та якісного розвитку зеленого туризму перебуває у центрі уваги як українських, так і зарубіжних науковців. Метою дослідження є визначення ключових проблем та окреслення перспектив розвитку цього напрямку в умовах соціально-економічної кризи.

Сільський зелений туризм є багатофункціональним і комплексним явищем, що активно інтегрується у господарське життя аграрних територій та сприяє їхньому економічному й соціальному розвитку. Провідні економісти визначають його як туризм, що базується на сільських садибах чи фермах, але не охоплює відпочинок у спеціально облаштованих рекреаційних зонах. У широкому розумінні це подорожі з метою відпочинку та оздоровлення, які передбачають проживання у сільській місцевості з використанням приватного сектору.

На думку вчених, найбільш ґрунтовним є визначення сільського зеленого туризму як особливої форми відпочинку в приватних господарствах сільської місцевості. Він базується на використанні майна та трудових ресурсів особистих селянських, підсобних