

Мишура К.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Павловський О.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВІРТУАЛЬНИЙ ПРИЛАД В СЕРЕДОВИЩІ NI LABVIEW ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СИГНАЛУ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ БЕЗПЛОТНОГО ОБ'ЄКТА

У статті розглянуто проблеми виокремлення корисної складової в спотвореному сигналі траєкторії руху безпілотного рухомого об'єкту, що функціонує в умовах складних фізичних середовищ. В більшості випадків рух такого апарату визначається або сформованою заздалегідь траєкторією з необхідністю її коригування безпосередньо під час виконання місії, або автоматичною побудовою такої траєкторії спираючись на дані систем датчиків. Сильна зашумленість даних, що необхідні для побудови траєкторії руху і відповідно, функціонування системи керування безпілотного апарату несуть велику загрозу пошкодження апарату. Таким чином, обов'язковим етапом обробки інформації є її фільтрація, проте звичайні алгоритми фільтрації не завжди ефективні. В статті було проведено дослідження з використанням методу вейвлет-розкладання для очищення складного сигналу, що моделює траєкторію руху умовного безпілотного апарату, сигнал містить як гармонічні так і випадкові завади. Для розкладання сигналу використовувалися різні хвильові функції, такі як сімейства Добеші, Сімлетів, Койфлетів та Хаар.

У процесі дослідження було оцінено ефективність обробки сигналу за допомогою вейвлет-розкладання. Для цього, було створено програмне забезпечення в середовищі NI LabVIEW. Дослідження показало, що найбільш оптимальними є використання функцій сімейства Добеші 3-го порядку, Сімлетів 2-го порядку, Койфлетів 1-го порядку та Хаар з третім рівнем розкладання для всіх сімейств хвильових функцій. Найкращий результат, що визначався за значеннями СКВ та максимального значення похибки показали вейвлети сімейства Хаар.

Оскільки, середовище NI LabVIEW має декілька функціональних блоків, що дозволяє очищувати сигнал із використанням вейвлет-функцій, а математичний апарат, що закладений в кожному функціональному блоці достеменно не відомий, то було проведено порівняння отриманих результатів із використанням блоків «Denoise VI», «Undecimated Wavelet Transform VI», «Multiresolution Analysis VI» та «Detrend VI». Дослідження були проведені для вейвлета сімейства Хаар з 3ім рівнем розкладання. Крайній результат отримали із використанням блоку «Multiresolution Analysis Express VI».

Ключові слова: вейвлетна фільтрація, NI LabVIEW, апроксимація, деталі, безпілотні апарати, система підтримки руху, системи керування, рухомі об'єкти, хвильова функція.

Постановка проблеми. Використання безпілотних апаратів полегшує вирішення великої кількості завдань у різних сферах, включаючи промисловість, медицину, науку та військову сферу. Для ефективного управління такими об'єктами необхідна система інтелектуальної підтримки руху безпілотних об'єктів та їх систем керування. Це є важливою складовою розробки новітніх технологій для забезпечення ефективного та безпечного функціонування. В більшості випадків рух такого апарату визначається або сформованою заздалегідь траєкторією з необхідністю її коригування безпосередньо під час виконання місії, або

автоматичною побудовою такої траєкторії спираючись на данні систем датчиків. Тому створення якісної системи керування безпілотного апарату який може працювати в умовах неконтрольованих збурень та завад руху, можливої різкої зміни чи втрати заданої траєкторії та зміни завдання є досить актуальним на сьогоднішній день.

Сильна зашумленість даних, що необхідні для побудови траєкторії руху і відповідно, функціонування системи керування безпілотного апарату несуть велику загрозу пошкодження або навіть втрати апарату, що безумовно призводить до невдалого завершення виконуваної місії. Таким чином, обов'язковим

етапом обробки інформації є її фільтрація, проте звичайні алгоритми фільтрації не завжди ефективні в умовах обмеженої апріорної інформації про характер змін корисної складової сигналу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

З наведених вище міркувань, а також завдяки наявності швидких та ефективних алгоритмів реалізації, обрання алгоритмів Вейвлет-фільтрації є дуже зручним та перспективним механізмом очищення та попередньої обробки даних для систем керування безпілотними апаратами, що підтверджується аналізом сучасних наукових робіт.

Так, у роботі [1] розробляється структура системи підтримки та прийняття рішень для планування маршрутів руху та керування мобільними роботами в залежності від перешкод. В цьому контексті, використання вейвлет-аналізу для фільтрації отриманих сигналів відіграє важливу роль.

У статті [2] проведено дослідження з метою вивчення можливості використання вейвлет-перетворення для фільтрації вихідних сигналів мікромеханічних гіроскопів і акселерометрів ІВМ при автономному визначенні широти місцеположення. У цій роботі було використано вейвлет сімейства Добеші 10-го рівня для фільтрації шумових складових та підвищення точності визначення широти.

У роботі [3] розглядається використання нейронних мереж для розпізнавання оптичних образів у системах спеціального призначення. В даній роботі також використовується вейвлет-аналіз для попереднього опрацювання та фільтрації вхідних образів.

В контексті досліджень, згаданих у роботах [1–3], визначення, яке сімейство вейвлетів є ефективнішим для очищення сигналу, є важливим та актуальним. Вейвлет-аналіз дозволяє розкрити структуру сигналу на різних масштабах, виявити та видалити шумові складові, покращуючи точність вимірювань та розпізнавання. Проте, аналізуючи результати в наведених роботах, можна виділити використання різного математичного апарату для формування Вейвлет-фільтрів, що в свою чергу може призвести до утворення додаткових похибок.

Використання середовища графічного програмування NI LabVIEW [4] значно спрощує роботу з вейвлет-аналізом та фільтрацією сигналів. Середовище дозволяє створити зручний графічний інтерфейс, що дозволяє використовувати створене програмне забезпечення операторам без необхідності зміни коду додатку. Також середовище NI LabVIEW легко масштабується на використання із зовнішніми системами і комплексами чутливих елементів [5].

Таким чином, дослідження, які порівнюють ефективність різних сімейств вейвлетів для очищення сигналу, є значущими, а використання NI LabVIEW спрощує процес очищення сигналу, забезпечуючи практичну реалізацію отриманих результатів, що наведені в роботах [1–3].

Постановка задачі. Метою даного дослідження є очистка сигналу умовної траєкторії руху безпілотних апаратів від шумової складової та спотворень за допомогою хвильової функції Добеші, Сімлетів, Койфлетів та Хаар, визначення найбільш ефективного сімейства вейвлетів, а також порівняння функціоналу і ефективності блоків середовища NI LabVIEW, що використовують математичний алгоритм Вейвлет-перетворень.

Інструментарій LabView для обробки сигналів

Для підтвердження ефективності виокремлення корисної складової сигналу умовної траєкторії руху безпілотного апарату, був розроблений віртуальний прилад в середовищі NI LabVIEW, лицьова панель якого показана на рис. 1. Додаток розроблений за принципом мультивкладкової структури, що легко модифікується за необхідності.

Так, вкладка «Настройки та еталонний сигнал», призначена для формування моделей сигналів для подальшого аналізу. У вікні можна обрати декілька варіантів сигналів, стандартний – форма якого задається у вигляді математичної моделі або сигнал, що заздалегідь сформований в текстовому файлі. Обрання типу джерела сигналу реалізовано слайдерним перемикачем. Також, передбачена можливість додавання завад до еталонного сигналу. За замовчуванням, завада задана у вигляді білого шуму із певною амплітудою (максимальне значення, що буде сформовано генератором випадкових чисел при формуванні складової завади). У вікні «Вид шуму» можна обрати Гаусів білий шум, періодичний шум, шум Бернуллі та ін. За необхідності, коли складові завад мають специфічний або аперіодичний характер існує можливість підвантаження сигналу завади із текстового файлу. У такому випадку масиви сигналу та завади мають бути узгоджені. Так, на рис. 1 показаний еталонний сигнал, що містить практично всі види елементарних сигналів та відповідає умовній траєкторії руху безпілотного апарату, математична модель якого задана наступним чином:

$$x(t) = \begin{cases} 4 + t \text{ nput} \in [0; 100] \\ 6 - t \text{ nput} \in (100; 200] \\ 2 \text{ nput} \in (200; 300] \\ \sin 2t \text{ nput} \in (300; 400] \\ 0.4 \sin (2\pi \cdot 10t) \text{ nput} \in (400; 500] \end{cases} \quad (1)$$

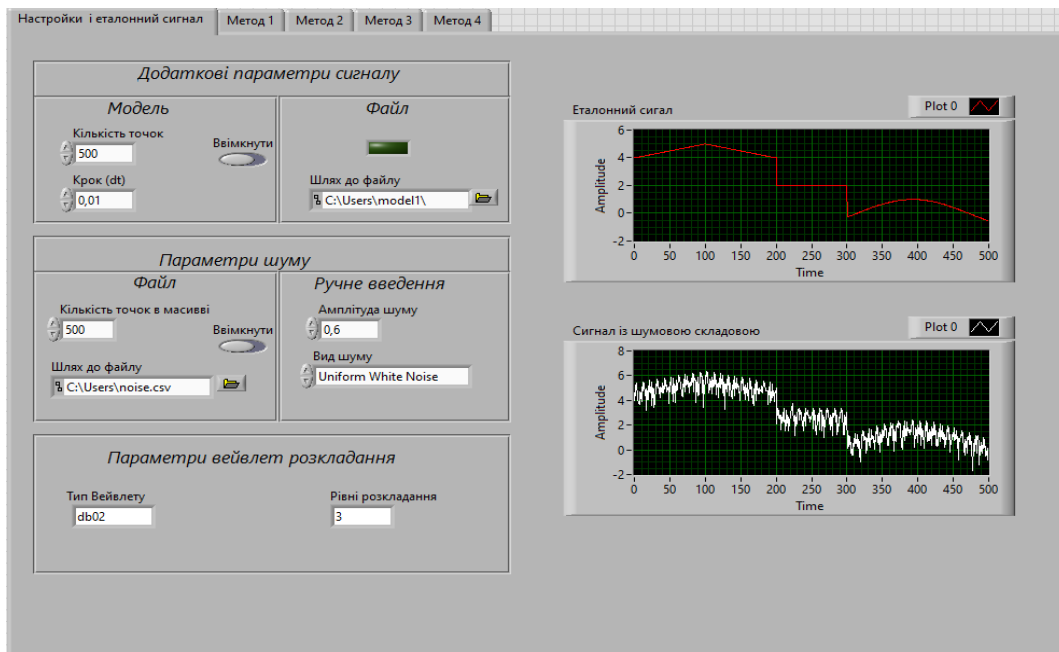


Рис. 1. Лицьова панель віртуального приладу з основними настройками моделювання

Інтервал часу 5 с, частота дискретизації 100 Гц, що відповідає кількості точок в корисному сигналі – 500. Максимальне значення сигналу 5 (в умовних одиницях), мінімальне – (-0,5).

На сигнал було накладено випадковий шум з СКВ 0,5, а також синусоїда з амплітудою 0,4 та частотою 10 Гц.

Також, на основній вкладці «Настройки та еталонний сигнал» можна задати сімейства Вейвлетів та рівень розкладання. Ці значення є початковими для розрахунків і можуть бути змінені в інших вкладках.

Вкладки, що позначені як «Метод...» використовують різні функціональні блоки вейвлет-перетворень. Основними функціональними блоками для очищення сигналу за допомогою вейвлет-перетворення є: «Denoise VI», «Multiresolution Analysis Express VI», «Detrend VI» та «Undecimated Wavelet Transform VI», які використовуються для виділення корисної складової (апроксимації), та для виведення деталей, що отримані після очищення. В якості інформативних статистичних параметрів обрані значення середньоквадратичного відхилення (СКВ) та максимального значення похибки, що реалізується за допомогою функціонального блоку «Statistics Express VI». Отже, загальний вигляд вкладки, що використовує функціональний блок «Multiresolution Analysis Express» показано на рис.2. Необхідно зазначити, що даний блок відноситься до блоків палітри «Express VI», недоліком якого є не можливість змінювати параметри

моделювання під час роботи із лицевою панеллю віртуального приладу. Тому блок був модифікований, що дозволило винести вікна типу вейвлета та рівня розкладання безпосередньо на вкладку.

Ліворуч на рис. 2 показані графіки апроксимації (знешумлений сигнал), праворуч проводиться порівняння вихідного графіку траєкторії із еталонною. При необхідності, можна вивести графік будь-якої деталі. За таким самим принципом реалізовані інші вкладки.

Порівняльний аналіз результатів моделювання Як було зазначено вище, модель еталонного сигналу задана математичною моделлю (1) та додатковим масивом завад сформованим із білого шуму та періодичної складової з амплітудою 0,4 та частотою 10 Гц. Для встановлення ефективності і працездатності запропонованого в [6] підходу у дослідженні було проведено вейвлет-розкладання сигналу, використовуючи основні сімейства вейвлетів: Добеші (db), Сімлетів (sym), Койфлетів та Хаар (Haar). Для оцінки ефективності розкладання, було застосовано блок «Statistics Express VI», що дозволив розрахувати (СКВ) та максимальне значення похибки. Для отримання вихідних даних був використаний модифікований блок «Multiresolution Analysis», результати моделювання показані на рис. 3 для вейвлетів сімейства Хаар 3 рівня розкладання, що показав найбільш ефективний результат для даного вхідного сигналу. Порівняння графіків еталонного та результуючого сигналів наведені на рис. 4 та рис. 5 відповідно.

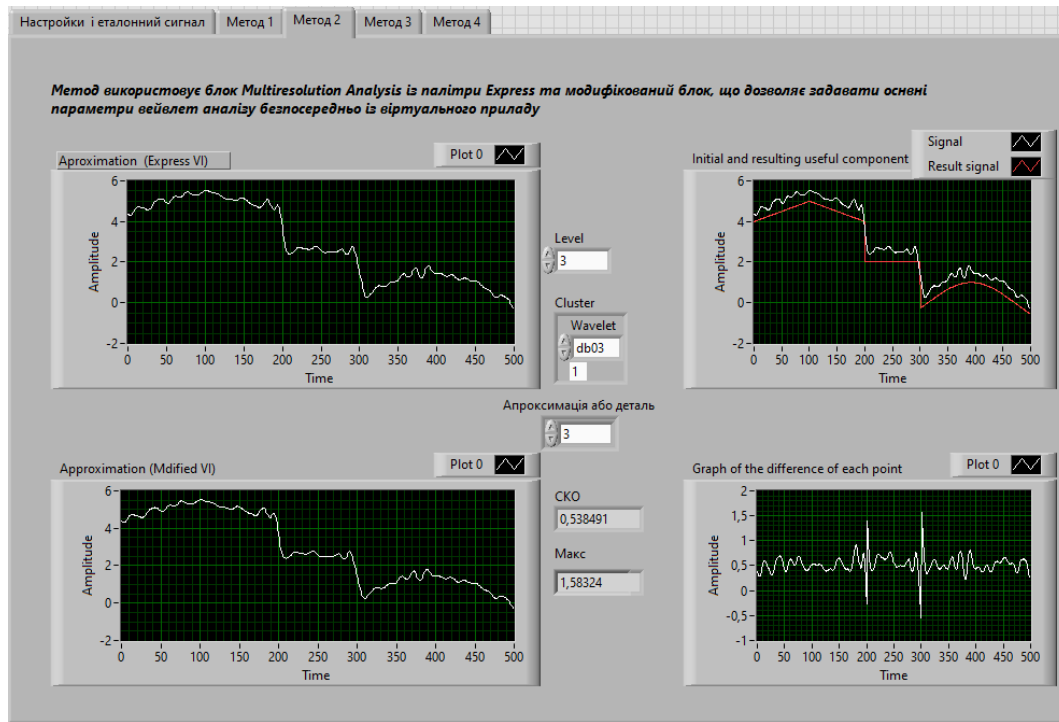


Рис. 2. Лицьова панель для виділення корисної складової

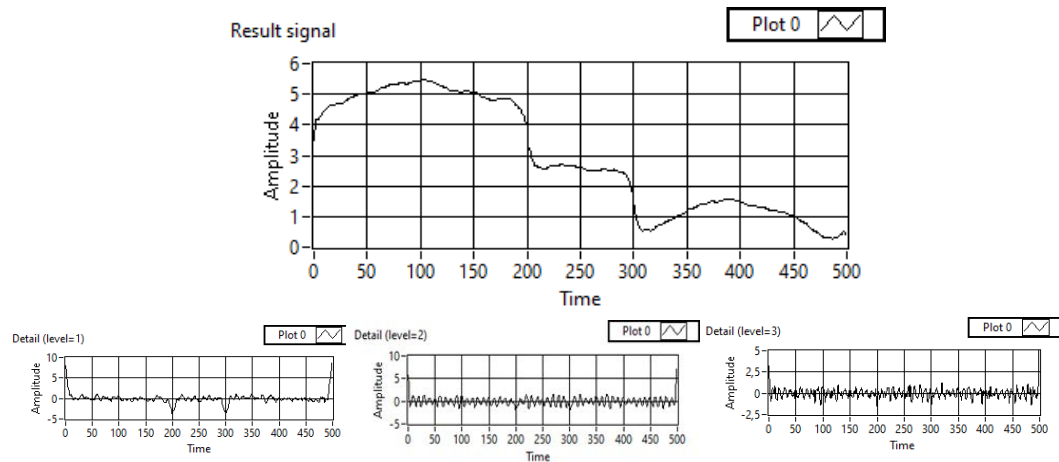


Рис. 3. Отриманий сигнал після вейвлет-розкладання з використанням хвильової функції сімейства Хаар

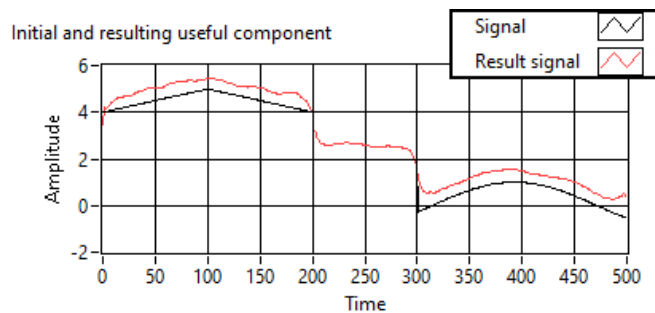


Рис. 4. Початковий та отриманий сигнал після вейвлет-розкладання з використанням хвильової функції сімейства Хаар

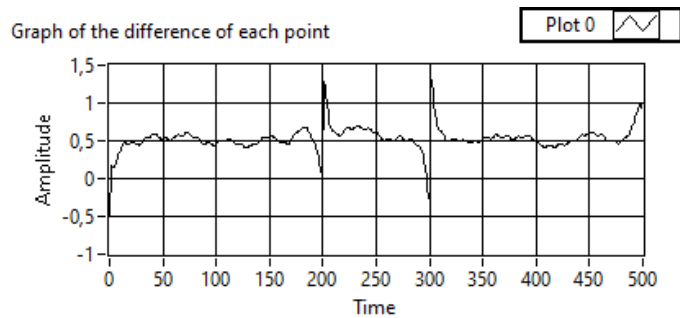


Рис. 5. Різниця кожної точки початкового сигналу та отриманого після вейвлет-розкладання

Результати дослідження представлені у таблиці 1, де було відображено отримані значення СКВ та максимальної похибки для кожного використаного сімейства вейвлетів.

Так, порівнюючи результати, що приведені в роботі [6] можна зробити висновок, що цілком вони співпадають, проте є певні незначні відмінності, так для сімейства Добеші різниця між вейвлетами третього, четвертого та п'ятого порядку лише у третьому розряді після коми, що не є суттєвим, а найменше значення СКВ показали вейвлети Хаар 3го порядку, а не 4го.

Порівняльний аналіз результатів вейвлет-розкладання з використанням різних блоків середовища NI LabVIEW

Тепер проведемо порівняння функціональних блоків, що використовують вейвлет-розкладання. Оскільки, математичний апарат, що закладений в кожному функціональному блоці достеменно не відомий, то проведемо порівняння отриманих

результатів із використанням наступних функціональних блоків «Denoise VI», «Undecimated Wavelet Transform VI», «Multiresolution Analysis VI» та «Detrend VI». Для всіх блоків використаємо сімейство Хаар із 3м рівнем розкладання, що попередньо показав кращий результат.

Якщо блоки «Undecimated Wavelet Transform VI», «Multiresolution Analysis VI» та «Detrend VI» мають стандартний набір вхідних параметрів для аналізу вхідного сигналу, таких як тип вейвлета та рівень розкладання, то блок «Detrend VI» використовує метод поліноміальної підгонки для оцінки та видалення тренду з вхідного сигналу. Даний блок дозволяє вибрати ступінь полінома, який використовується для відповідності тренду. Для обчислення кількості рівнів розкладання, даний блок використовує формулу:

$$j = \log_2\left(\frac{f_{дискр}}{2 \times f_n}\right) \quad (2),$$

де – рівень розкладання, – частота дискретизації, – порогова частота.

Отже, результати порівняння роботи функціональних блоків занесені в таблицю 2.

Проаналізувавши отримані дані маємо, що кращий результат отримали із використанням блоку «Multiresolution Analysis Express VI», блоки «Denoise VI» та «Undecimated Wavelet Transform» дали однакові результати, що явно вказує на використання одного і того ж математичного апарату. Блок «Detrend VI» показав найбільше значення СКВ похибки, проте має мінімальне значення максимуму.

Висновки. Розробка систем інтелектуальної підтримки руху багатоцільових рухомих об'єктів є важливою складовою в розвитку безпілотної робототехніки, такі системи дозволяють забезпечити точність та стійкість руху об'єктів, що працюють в умовах дії неконтрольованих збурень та завад руху.

Такі системи зазвичай включають в себе різні типи сенсорів, алгоритми навігації та керування, системи зв'язку та обробки даних, що дозволяє забезпечити максимальну точність та ефективність руху безпілотної об'єктів.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз вейвлет-розкладання з використанням різних сімейств вейвлетів

Сімейство вейвлетів	Рівень розкладання	СКВ	Максимальне значення похибки
db 3	3	0,533082	1,5963
sym 2	3	0,562955	1,8173
coif 1	3	0,55974	1,5352
Haar	3	0,521389	1,4786

Таблиця 2

Порівняльний аналіз роботи блоків для вейвлет-розкладання

Назва блоку	СКВ	Максимальне значення похибки
«Denoise VI»	0,54012	1,47322
«Multiresolution Analysis Express VI»	0,521389	1,4786
«Detrend VI»	0,55571	1,36911
«Undecimated Wavelet Transform»	0,54012	1,47322

Сильна зашумленість даних, що необхідні для побудови траєкторії руху, і відповідно, функціонування системи керування безпілотного апарату несуть велику загрозу пошкодження або навіть втрати апарату, що безумовно призводить до невдалого завершення виконуваної місії. Таким чином, обов'язковим етапом обробки інформації є її фільтрація, проте звичайні алгоритми фільтрації не завжди ефективні. Тому, провівши огляд робіт за даною тематикою було вирішено використовувати апарат видалення шумових складових з використанням вейвлет-функцій. Для цього, було створено програмне забезпечення в середовищі NI LabVIEW. Дослідження показало, що найбільш оптимальними є використання функцій сімейства Добеші 3-го порядку, Сімлетів 2-го порядку, Койфлетів 1-го порядку та Хаар з рівнем розкладання 3 для всіх сімейств хвильових

функцій. Найкращий результат, що визначався за значеннями СКВ та максимального значення похибки показали вейвлети сімейства Хаар, що корелює із дослідженням приведеним у [6], але виконаним за допомогою математичного апарату середовища NI LabVIEW.

Оскільки, середовище NI LabVIEW має декілька функціональних блоків, що дозволяє очищувати сигнал із використанням вейвлет-функцій, а математичний апарат, що закладений в кожному функціональному блоці достеменно не відомий, то було проведено порівняння отриманих результатів із використанням блоків «Denoise VI», «Undecimated Wavelet Transform VI», «Multiresolution Analysis VI» та «Detrend VI». Дослідження були проведені для вейвлета сімейства Хаар з 3ім рівнем розкладання. Кращий результат отримали із використанням блоку «Multiresolution Analysis Express VI».

Список літератури:

1. Система підтримки прийняття рішень при плануванні та дистанційному керуванні рухом мобільних об'єктів / Ю. Гунченко та ін. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2017. Т. 7, № 1-2. С. 127–134.
2. Використання вейвлет перетворення при автономному визначенні широти місцеположення / В. Аврутов та ін. *Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування*. 2022. № 63(1). С. 5–10.
3. Шворов С., Штепа В., Заєць Н. Нейромережеве розпізнавання оптичних образів у системах спеціального призначення. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2014. № 45. С. 102–108.
4. Середовище LabVIEW/ Офіційний сайт National Instruments URL: <https://www.ni.com/en-us/shop/software/products/labview.html>
5. Ahmad Zabidin, Y. A., Pairan, M. F., & Shamsudin, S. S. Dynamic Modelling and Control for Quadcopter UAV with LabVIEW and X-Plane Flight Simulator. *Journal of Complex Flow*, 2020. 2(2), 19-26
6. Бурау Н., Мішура К. Виокремлення складного тренду сигналів у системах інтелектуальної підтримки руху об'єктів. *Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування*. 2022. № 64(2). С. 5–11.

Mishura K.A., Pavlovskiy O.M. WAVELET TRANSFORMATION FOR SIGNAL DENOISING IN NI LabVIEW ENVIRONMENT

The article discusses the problems of extracting the useful component from a distorted signal of the trajectory of an unmanned moving object operating in complex physical environments. In most cases, the movement of such a device is determined either by a pre-determined trajectory with the need for real-time adjustment during mission execution or by automatic construction of such a trajectory based on sensor system data. The strong noise in the data necessary for trajectory construction and, consequently, the functioning of the unmanned vehicle control system pose a significant risk of damaging the device. Therefore, information filtering is a mandatory step in data processing, although conventional filtering algorithms are not always effective. The article conducted research using the wavelet decomposition method for cleaning a complex signal that models the trajectory of a hypothetical unmanned vehicle, where the signal contains both harmonic and random interferences. Various wavelet functions such as the Daubechies, Symlets, Coiflets, and Haar families were used for signal decomposition.

During the research, the effectiveness of signal processing using wavelet decomposition was evaluated. For this purpose, software was developed in the NI LabVIEW environment. The research showed that the most optimal functions were those from the Daubechies family with a 3rd order, Symlets with a 2nd order, Coiflets with a 1st order, and Haar with a third-level decomposition for all families of wavelet functions. The best results, as determined by the values of the Signal-to-Noise Ratio (SNR) and the maximum error value, were achieved using Haar wavelets.

Since the NI LabVIEW environment has several functional blocks that allow signal denoising using wavelet functions, and the mathematical framework embedded in each functional block is not explicitly known, a comparison was made between the obtained results using the “Denoise VI”, “Undecimated Wavelet Transform VI”, “Multiresolution Analysis VI”, and “Detrend VI” blocks. The study was conducted for the Haar wavelet with a third-level decomposition. The best result was obtained using the “Multiresolution Analysis Express VI” block.

Key words: wavelet filtering, NI LabVIEW, approximation, details, unmanned vehicles, motion support system, control systems, moving objects, wavelet function.