

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Лагун Ілони Ігорівни «Методи ефективного вибору базових функцій для часо-частотного перетворення сигналів», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми. Оброблення, зберігання та передавання інформації, представленої за допомогою різних типів сигналів на сьогодні є актуальною областю дослідження в галузі комп'ютерних систем. Це обумовлено стрімким розвитком різноманітних технічних та технологічних систем, призначених для збирання великих обсягів інформації та її складного аналізу, зокрема із залученням штучного інтелекту, машинного навчання, інших сучасних викликів. Одним з актуальних напрямків є реалізація високопродуктивних комп'ютерних систем на сучасній програмованій елементній базі, як автономних систем, вбудованих систем, тощо. Галузями застосування досліджень дисертаційної роботи розглядаються медична діагностика, біомедична інженерія, вібродіагностика, дефектоскопія, ультразвукова діагностика, енергетика. В цих галузях виникають завдання діагностування та контролю параметрів процесів і середовищ, вимірювання параметрів випадкових процесів і полів, ідентифікації сигналів, автоматичного контролю технологічних процесів, тощо. Ці процеси характеризуються надвеликою кількістю інформації, яку людина не здатна вже накопичувати, зберігати, обробляти і аналізувати без допомоги технічних систем. Під час вирішення означених завдань, вихідна інформація представляється інформативними сигналами широкого кола, які обробляються та перетворюються в часо-частотному діапазоні, для подальшого опрацювання на функціональному рівні технічних систем. При цьому виникає необхідність в формуванні узагальнених рекомендацій та практичних підходів для вибору базових малохвильових функцій (МФ) для ефективного часо-частотного перетворення сигналів. Це в подальшому обумовить спрощення і прискорення способів опрацювання вхідної інформації і збільшення достовірності результатів аналізу на функціональному рівні комп'ютерних систем.

Таким чином, обґрунтований та ефективний вибір базових малохвильових функцій, який дозволить забезпечити високу точність подання і швидкодію перетворення сигналів у часо-частотній області за рахунок зменшення кількості значущих коефіцієнтів є **доцільною і актуальною задачею**, яка вирішується в дисертаційній роботі.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалась відповідно до планів науково-дослідних

робіт кафедри «Комп'ютеризованих систем автоматики». Результати дисертаційних досліджень були використані під час виконання науково-дослідних робіт: «Розроблення методів та засобів цифрової обробки інформації на базі її малохвильового (вейвлет) перетворення», (№ ДР 0109U008855, 2010-2012 рр.) та ДБ/КІБЕР «Розроблення методів і засобів вимірювання, автоматизації, опрацювання та захисту інформації в базисі кіберфізичних систем» (№ ДР 0115U000446, 2015 – 2017 рр.).

Наукова новизна та теоретична цінність результатів. В дисертаційній роботі виконано теоретичне обґрунтування та отримано рішення актуального науково-прикладного завдання підвищення ефективності вибору базових малохвильових функцій, для забезпечення високої точності подання і швидкодії перетворення сигналів у часо-частотній області за рахунок зменшення кількості значущих коефіцієнтів.

Наукова новизна відображена у наступних отриманих результатах, які мають теоретичну цінність:

– удосконалений критерій вибору базових малохвильових функцій на базі універсального індексу якості сигналу, який на відміну від відомих оцінює базові малохвильові функції, за сукупністю параметрів, таких як корельованість, зміна середнього значення та динамічного діапазону опрацьованого сигналу, використання якого що дозволило підвищити якісні характеристики малохвильового перетворення в процесі очищення сигналів від шуму.

– удосконалений метод вибору базових малохвильових функцій, який на відміну від відомого базується на використанні генетичного алгоритму і запропонованого критерію на базі універсального індексу якості сигналу, що забезпечило підвищення ефективності процесу очищення сигналів від шуму.

– подальше розвинутий метод оцінки ефективності вибору малохвильових базових функцій за критерієм співвідношення енергії малохвильових коефіцієнтів та ентропії розподілу енергії Шеннона, який відрізняється від відомих наступним:

- використанням співвідношення норми енергії коефіцієнтів апроксимації до ентропії детальних коефіцієнтів,
- критерієм оцінки коефіцієнта взаємної кореляції, на відміну від відомого використовує взаємну кореляцію між аналізованим сигналом та малохвильовими коефіцієнтами,
- інформаційним критерієм, на відміну від відомого використовує співвідношення взаємної інформації до відносної ентропії аналізованого сигналу,

що в результаті дозволило зосередити енергію сигналу в невеликій кількості значущих коефіцієнтів, забезпечити необхідну точність апроксимації та найбільш повне представлення сигналів у часо-частотній області.

Визначені основні наукові результати є новими.

Теоретичне значення роботи полягає у розробленні нових та розвиненні відомих теоретичних та практичних засад методів вибору базових малохвильових функцій. Завдяки цьому розв'язано наукове завдання, яке полягає у визначенні ефективності існуючих та пошуку нових методів та алгоритмів ефективного вибору базових малохвильових функцій для неперіодичних сигналів, що дозволило забезпечити високу точність їх подання у часо-частотній області, зосередити енергію сигналу в невеликій кількості значущих коефіцієнтів та підвищити швидкодію перетворення.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені нові та удосконалені існуючі методи та засоби ефективного вибору базових малохвильових функцій можуть бути використані для розроблення та удосконалення апаратно-програмних засобів опрацювання сигналів у комп'ютерних системах, які призначені для діагностування та контролю параметрів процесів і середовищ, вимірювання параметрів випадкових процесів і полів, ідентифікації сигналів, автоматичного контролю технологічних процесів, тощо. Підвищення швидкодії передачі таких сигналів та якісного їх перетворення у часо-частотній області, дозволить підвищити ефективність опрацювання сигналів, в тому числі зображень та відеосигналів, на рівні програмно апаратних засобів комп'ютерних систем.

Отримані практичні результати полягають в основу подальшого розвитку існуючих та розробки нових методів вибору базових малохвильових функцій для опрацювання як одновимірних, так і багатовимірних сигналів у комп'ютерних системах.

Особливу практичну цінність мають наступні результати.

– удосконалений метод з використанням енергетичних, кореляційних та інформаційних критеріїв підвищив ефективність вибору базових функцій як в часовій, так і в часо-частотній областях;

– удосконалений метод з використанням генетичного алгоритму та універсального індексу якості сигналу забезпечує можливість зменшення рівня шуму в сигналі в межах 4 – 10% у порівнянні з методом оптимізації на основі оцінки середньоквадратичної похибки,

– використання методу вибору базової малохвильової функції на основі інформаційного критерію дозволяє підвищити точність реконструкції сигналу на 15 – 20% у порівнянні з використанням енергетичного та кореляційного критеріїв,

– розроблене програмне забезпечення для вибору базової малохвильової функції може бути використано в апаратно-програмних засобах опрацювання сигналів в комп'ютерних системах різного призначення.

Методологічні й наукові результати дисертаційної роботи отримали

практичного використання в науково-дослідній роботі ДБ/КІБЕР «Розроблення методів і засобів вимірювання, автоматизації, опрацювання та захисту інформації в базисі кіберфізичних систем» та використані в курсі лекцій «Цифрові методи обробки сигналів та зображень», а також при виконанні магістерських робіт і наукових досліджень аспірантів на кафедрі «Комп'ютеризованих систем автоматики» Національного університету «Львівська політехніка».

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів. Отримані результати є обґрунтованими та достовірними, це підтверджується значним обсягом здійснених досліджень, поданим фактичним матеріалом та його науковою інтерпретацією, практичним використанням запропонованих розробок та апробацією на наукових конференціях.

У роботі коректно застосовано основні положення теорії комп'ютерних систем, а також методи цифрової обробки сигналів, математичного аналізу, оптимізації, теорія рядів і цифрової фільтрації, спектрального та малохвильового (вейвлет) аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання.

Достовірність висновків та рекомендацій підкріплена результатами моделювання, а також відповідними публікаціями.

Оцінюючи зміст дисертаційної роботи в цілому слід відмітити її достатню обґрунтованість та практичну спрямованість, внутрішню єдність матеріалу. У цілому поставлені в розглянутій дисертації завдання вирішені повністю. Здобувачем у дисертації отримані науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності вибору базових малохвильових функцій, для забезпечення високої точності подання і швидкодії перетворення сигналів у часо-частотній області за рахунок зменшення кількості значущих коефіцієнтів.

Дисертаційна робота оформлена згідно вимогам до кандидатських дисертацій.

Дисертація написана якісною українською мовою з доволі незначною кількістю стилістичних недоліків, орфографічних помилок в роботі майже не виявлено.

Повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях. Основні результати дисертації з достатньою повнотою відображено у 9 публікаціях, з них 7 статей у наукових фахових виданнях України, в тому числі 1 стаття у науковому фаховому виданні України, яке включене до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*; 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, одна з яких у виданні, яке включене до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*.

Результати апробовано на науково-технічних конференціях, що зафіксовано в 6 опублікованих тезах та доповідях конференцій.

Аналіз самостійного внеску автора в публікації по питаннях, висвітлених в дисертації, показав, що внесок Лагун І.І. є значним.

Рекомендації щодо використання результатів.

Отримані автором наукові та практичні результати можуть бути використані при подальшому розвитку існуючих та розробки нових методів вибору базових малохвильових функцій для опрацювання як одновимірних, так і багатовимірних сигналів у комп'ютерних системах. Їх доцільно також використовувати в навчальному процесі, зокрема при викладанні курсів, пов'язаних з цифровими методи обробки сигналів та зображень, проектуванням спеціалізованих комп'ютерних систем, вбудованих комп'ютерних систем, в тому числі з елементами машинного навчання і штучного інтелекту.

Автореферат повною мірою відображає зміст і основні положення дисертаційної роботи.

Недоліки дисертаційної роботи. Разом з тим дисертаційна робота має й ряд недоліків, серед яких необхідно відзначити наступні.

1. Представлення сигналу – це заміна його моделлю, яка має бути, з одного боку, зручною для обробки і сприйняття, з іншого боку, адекватною реальним сигналам. Автор дисертації вибрала сімейство моделей та методів на малохвильових функціях, стверджуючи, що вони більш адекватні. Але для такого висновку було виконано порівняння лише з однією моделлю, яка заснована на функції Дірака, не приймаючи до уваги інші моделі. Звісно, функція Дірака має рівномірний безперервний спектр і в цьому програє ядрам малохвильових перетворень. Але вона є абстракцією, яка не існує в природі. Так само, як не існують в природі сигнали з формою деяких ядер малохвильового перетворення. Доцільно було б виконати порівняння з моделлю, яка основана на функції *sinc*. Така функція зустрічається, наприклад, у теоремі Котельникова, а також у фізичних сигналах? Доречи, деякі з малохвильових функцій можна вважати апроксимацією функції *sinc*. Також не прийняті до уваги моделі з віконним перетворенням Фур'є, які в інженерній практиці зустрічається частіше, ніж методи з малохвильовими функціями.

Отже, автору дисертації слід було б ретельніше та переконливіше обґрунтувати актуальність, важливість та необхідність методів представлення сигналів, що розглядаються. Із тексту першого розділу незрозуміло, чому в області комп'ютерної техніки привертають увагу саме неперіодичні сигнали і, чому для аналізу та синтезу неперіодичних сигналів в часо-частотній області використовується малохвильове (вейвлет) перетворення (стор. 47).

2. Серед критеріїв вибору малохвильових функцій (ортогональність, розмір носія і таке інше), які описані у другому розділі роботи, доцільно було б розглянути також критерій схожості з власною функцією лінійної системи. Завдяки саме цій властивості, зазвичай досліджують частотні

характеристики лінійних систем. Автор дисертації відрізняє малохвильові перетворення від перетворення Фур'є саме тому, що перші здатні виконувати спектральне розкладання нестационарних сигналів. Але перетворення Фур'є, перш за все, й використовується в науці і техніці завдяки тому, що розкладання виконується за ядром (синус-косинус, Z-функція), що представляє власну функцію досліджуваної лінійної системи. Таку саму властивість має й перетворення Габора. Отже, оцінка наявності властивості схожості з власною функцією лінійної системи у малохвильових функцій дозволила б безсумнівно оцінити придатність малохвильових функцій для практичної оцінки спектру швидкоплинних нестационарних сигналів, але дисертаційній роботі жодної такої оцінки не приведено. Хоча, напевне, функція Морле є найбільш наближеною до власної функції лінійної системи.

3. У табл. 2.1 дисертаційної роботи вказано, що лише у дискретизованій функції Меєра є апроксимація КІХ-фільтром. Насправді, у багатьох багатохвильових функцій є дискретизація з апроксимацією КІХ-фільтром, і тому такий фільтр є базовим елементом типового практичного застосування багатохвильового перетворення. До речі, в дисертаційній роботі вслід використовувати аббревіатуру СІХ-фільтр (фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою), замість КІХ.

4. В дисертаційній роботі, на мій погляд, некоректно використовуються посилання на літературні джерела. Часто посилання угрупованні в великі групи, в межах яких зустрічаються, як джерела автора, так і сторонні джерела. За цим складно відокремити власні дослідження автора і відомі положення. Відсутні такі розсуди, як, наприклад, в роботі [] автором досліджено або визначено, опис яких представлено в роботах [], що наведено в [], як наголошується в [], тощо. В основному, всі посилання приведені у дужках наприкінці речення або абзацу. В тексті, або наприкінці основних розділів дисертаційної роботи явно не указано, в яких саме роботах автора опубліковано приведені результати досліджень.

5. Перший розділ дисертаційної роботи є критичним аналізом відомих рішень в досліджуваній області з ціллю виявлення певних проблем, пошуку їх можливих вирішень і обґрунтування поставлених в дисертаційній роботі задач. На мій погляд, в цьому розділі дисертації представлена велика кількість загального теоретичного матеріалу. Там же, де очікуються певні розсуди та аналітичні оцінки, автор дисертації робить посилання на власні публікації без приведення результатів аналізу в роботі. Наприклад, в підрозділі 1.3 досить широко описано загальні основи по класифікації типів сигналів, а на стор. 46 зазначено, що «Аналіз методів часо-частотного представлення сигналів дозволив прийти до висновку, що опрацювання різних типів сигналів залежить від особливостей формування [32].», при цьому сам аналіз в роботі не приведено. Підрозділ 1.4. першого розділу починається з фрази «В результаті проведеного аналізу [33, 37]...»

при цьому самого аналізу не приведено.

6. Наприкінці першого розділу слід було б привести постановку задач дисертаційної роботи, які витікають із зроблених до розділу висновків, а не навпаки.

7. В розділі 4, присвяченому експериментальним дослідженням, не описано, на базі яких інструментальних засобах та устаткуванні виконано експерименти, яка степінь достовірності результатів, отриманих на використаному інструментарії.

8. В дисертаційній роботі слід було б більш чітко вказати зв'язок матеріалів дисертації зі спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

9. У переліку літератури представлена доволі незначна кількість літературних джерел за останні п'ять років (одиннадцять із ста десяти).

Серед недоліків автореферату слід зазначити наступні.

10. В авторефераті до дисертаційної роботи на стор. 5 зазначено «З огляду на це, формування МФ $\psi(t)$ повинно відбуватися з використанням максимальної кількості малохвильових коефіцієнтів (МК), які наближаються до нуля. В цьому випадку перетворений сигнал має декілька значущих МК і більшість майже нульових, що вказують на високу роздільну здатність.» Не зрозуміло, що таке малохвильові коефіцієнти (МК)? Якщо це коефіцієнти ВП, то незрозуміло, як МК «...вказують на високу роздільну здатність»? Адже чим менше ненульових коефіцієнтів – тим більша роздільна здатність відновленого сигналу. Напевне, автор хотів сказати, що інформація у сигналі концентрується у тих складових, які мають більшу амплітуду. А стиснення сигналу з втратами є ефективнішим тоді, коли кількість складових, які замінюються нулями, є максимальною.

11. Під час формулювання наукової новизни у вступі та авторефераті було б доцільно представити стисло анотацію щодо нового внеску здобувача в дослідження відповідного наукового завдання.

Зроблені зауваження суттєво не знижують якість виконаних автором наукових досліджень, наукову новизну та теоретичні й практичні результати дисертаційної роботи.

Загальний висновок по дисертації. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій отримано розв'язання актуального науково-прикладного завдання підвищення ефективності вибору базових малохвильових функцій, для забезпечення високої точності подання і швидкодії перетворення сигналів у часо-частотній області за рахунок зменшення кількості значущих коефіцієнтів.

Робота є *актуальною*, містить *нові наукові результати*, автором дотримано цілісність підходу.

Дисертаційна робота Лагун І.І. відповідає спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Дисертаційна робота за темою «Методи ефективного вибору базових функцій для часо-частотного перетворення сигналів» є завершеним науковим дослідженням, відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами), а її автор – Лагун Ілона Ігорівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

Професор кафедри обчислювальної техніки
факультету інформатики та обчислювальної техніки
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

докт. техн. наук, доцент

Клименко І.А.

Підпис проф. Клименко І.А. засвідчує
Вчений секретар Вченої ради
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

к. філос.н., доцент



Мельниченко А.А.