

Міністерство освіти і науки України
Національний університет “Львівська політехніка”

ПЕЛЕХ ЮРІЙ МИРОНОВИЧ

УДК 004.896; 004.934

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МАРКЕРУВАННЯ МОВНИХ СИГНАЛІВ

05.13.23 – Системи та засоби штучного інтелекту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті “Львівська політехніка”

Міністерство освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Пелешко Дмитро Дмитрович,
Національний університет “Львівська політехніка”
завідувач кафедри інформаційних технологій
видавничої справи

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Винокурова Олена Анатоліївна,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
головний науковий співробітник Проблемної науково-дослідної
лабораторії автоматизованих систем управління;

кандидат технічних наук, доцент
Повхан Ігор Федорович,
ДВНЗ “Ужгородський національний університет”,
доцент кафедри програмного забезпечення систем.

Захист відбудеться “27” серпня 2015 р. о 16⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д35.052.14 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Степана Бандери 28а, ауд. 807, V корпус).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Професорська 1).

Автореферат розіслано “24” липня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Батюк А.Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Доступність інформації і її швидке розповсюдження є одним з основних факторів розвитку новітніх технологій в останнє десятиліття. Аудіо інформація стала ширше використовуватися завдяки інтернету. У зв'язку зі зростанням використання цифрового аудіо контенту виникають нові проблеми збереження авторських прав, зокрема боротьба з підробкою, шахрайство та піратство. Типовою стала проблема несанкціонованого копіювання аудіо файлів та їх використання у власних цілях.

Збереження авторських прав на сьогодні є одним із найбільш перспективних напрямів розв'язання проблеми захисту цифрової інформації від несанкціонованого доступу. Таким чином, зловживання авторськими правами набуло популярності серед користувачів мультимедійного контенту, що є мотивуючим фактором у розвитку новітніх технологій захисту цифрових даних, зокрема, аудіо інформації. Тому запобігання піратському копіюванню інформації, підробці та порушенню авторських прав, є важливою і актуальною проблемою, яка потребує швидкого вирішення.

Основним шляхом вирішення цієї проблеми є приховування інформації, яка у різноманітній цифровій формі зберігає дані про авторські права.

Приховування інформації лежить в основі трьох технологій: криптографії, стеганографії та маркеруванні. Маркерування в значній мірі нагадує стеганографію, але відмінність є в тому, що інформація зазвичай приховується у самому об'єкті.

Найбільш вживаним підходом у приховуванні інформації є використання так званого цифрового водяного знаку. Суть цієї технології полягає у тому, що приховувана (секретна) інформація про правовласника, вбудовується у спосіб, який для збереження авторських прав на інформацію, враховує маскувальний ефект зорової (Human Visual System) чи звукової системи людини (Human Audio System).

Методи, які базуються на цій технології, на сьогодні вважаються найбільш ефективним вирішенням проблеми збереження авторських прав. Це пояснюється тим, що цифровий водяний знак може бути використаний не лише для захисту інформації від незаконного копіювання, але й для ідентифікації персоналізованих (індивідуальних) даних.

В останні роки було розроблено багато методів вбудовування водяних знаків з метою створення надійних стеганографічних засобів для аудіо інформації. Основний доробок в цій галузі відображений у працях таких науковців: Ж. Цзена, В. Лі, Л. Чанга, І. Кокса, М. Пуяна, А. Делфороузі, С. Ліу, С. Ліна, П. Басія, Б. Чена, А. Шишкіна, Г. Конаховича, С. Дворянкіна, О. Корченка, Т. Вінцюка та ін.

На сьогодні існує три основні типи водяних знаків: видимі, “напівсліпі” та “сліпі”.

Перші два типи водяних знаків, розвиток яких найбільш відображений у працях В. Лі та Л. Чанга, характеризуються високою стійкістю. Проте практичне застосування видимих та “напівсліпих” водяних знаків є обмеженим. Це пояснюється тим, що для детектування маркеру в аудіо потоці необхідні додаткові вхідні дані або наперед відомими повинні бути відліки вбудовування водяного знаку.

“Сліпі” водяні знаки не потребують жодних вхідних даних для детекції маркеру

в цифрових сигналах. Проте, основним недоліком “сліпих” методів маркерування є їх недостатня захищеність від несанкціонованого виявлення маркеру сторонніми особами чи засобами.

У розвитку “сліпого” маркерування можна виділити два класи методів. В основі першого класу лежать методи, які базуються на використанні адаптивного квантування проти синхронізаційних атак. Сам водяний знак вбудовується в низькочастотні компоненти за допомогою адаптивного квантування відповідно до слухової системи людини. У працях М. Пуяна та А. Делфороузі представлено метод маркерування, за яким водяний знак вбудовується у хвильову (wavelet) область сигналу. Відзначимо, що використання вейвлет-перетворень для маркерування на сьогодні є достатньо поширеним.

На використанні операційних перетворень базуються методи “сліпого” маркерування другого класу. Типовими використовуються перетворення Фур’є, вейвлетне та кепстральне. Так, наприклад, С. Ліу та С. Лін запропонували “сліпу” схему водяних знаків, яка базується на використанні стійкої до атак кепстральної функції та у можливості виправлення помилок ВСН (Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема) коду для підвищення надійності, а також, прихованості аудіо водяних знаків. С. Лі та Ю. Хо запропонували систему вбудовування водяних знаків в область кепстру, де псевдовипадкова послідовність використовується в якості водяного знаку. Водяний знак відображається в області кепстру відповідно до розподілу кепстральних коефіцієнтів та властивостей частоти маскування слухової системи людини.

Ж. Цзен представив “сліпий” метод вбудовування водяних знаків, який вбудовує водяний знак у коефіцієнти дискретно-косинусного перетворення (DCT) з використанням техніки квантування коефіцієнтів модуляції.

Одним із найбільш відомих “сліпих” методів маркерування є метод І. Кокса, за яким водяний знак вбудовується у найвищі n коефіцієнтів дискретно-косинусного перетворення (DCT) всього звуку. Метод Кокса визначається високими характеристиками надійності. Тим не менше, цей метод не може досягти високого рівня прихованості з точки зору співвідношення сигнал-шум (SNR – signal-to-noise ratio), тому що сам водяний знак вбудовується у найвищі коефіцієнти DCT компонентів звуку, які іноді впливають на якість звуку.

На підставі вище сказаного можна констатувати, що *актуальним науковим завданням* є розроблення нових методів маркерування, які незалежно від характеристик звукового сигналу володіють оптимальним співвідношенням надійності та прихованості і є незалежні від моделі мовотворення.

У даній дисертаційній роботі пропонуються нові схеми водяних знаків на основі розроблених методів сегментації, використання показника гладкості Гельдера та швидкого перетворення Фур’є (ШПФ) для маркерування аудіо сигналів.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках навчальних та науково-дослідних робіт, використовувалася у технічних розробках, пов’язаних з інтелектуальною обробкою даних та паралельними обчисленнями кафедри інформаційних технологій видавничої справи Національного університету “Львівська політехніка”, зокрема, за держбюджетними темами ДБ/Робот “Розвиток теорії синтезу нейронних мереж на НВІС-структурах для обробки сигнала

лів в робототехнічних системах” (0112U001204), ДБ/Трекінг “Відслідковування рухомих об’єктів у відеопотоках реального часу” (0115U000432) та ДБ/МЕМС “Високошвидкісні інформаційні технології опрацювання даних в мікроелектромеханічних системах на основі вбудованих штучних нейронних мереж” (0111U001218).

Метою дисертаційного дослідження є розроблення методів сегментації та маркерування цифрових аудіо сигналів, які є стійкими до змін параметрів цифрового аудіо сигналу та незалежні від моделі мовотворення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Проаналізувати сучасні технології приховування інформації для розроблення методів стійкої сегментації та маркерування аудіо сигналів.
2. Розробити методи сегментації звукового сигналу за параметрами процедури маркерування, які були б незалежні від топології первинного розбиття.
3. Розробити процедуру маркерування цифрового аудіо сигналу та зворотної до неї (ідентифікації цифрового аудіо сигналу).
4. Розробити методи маркерування цифрового аудіо сигналу з використанням опорних точок максимальних магнітуд та показника гладкості Гельдера.
5. Удосконалити методику оцінки якості декодування цифрового сигналу.
6. Розробити програмну реалізацію розроблених методів сегментації, маркерування та ідентифікації цифрового аудіо сигналу.

Об’єктом дослідження є процес маркерування аудіо сигналу.

Предмет дослідження – цифрові аудіо сигнали.

Методи дослідження. Результати дисертаційних досліджень отримані з використанням елементів методів теорії мір, цифрової обробки сигналів та зображень, дискретної математики, алгебри і топології та теорії алгоритмів і програмування. Зокрема, сегментація аудіо сигналів здійснювалась із застосуванням теорії мір, методів операційного числення та теорії інваріантних моментів.

Наукова новизна. На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі *нові результати*:

Вперше розроблено:

- метод маркерування водяного знаку у аудіо сигнал, який базується на аналізі спектральних магнітуд, що забезпечило високу точність ідентифікації маркерованого сигналу незалежно від топологічного покриття самого сигналу;
- метод маркерування водяного знаку в аудіо сигнал, який базується на сегментації сигналу та аналізі гладкості за показником Гельдера, що дало змогу підвищити стійкість до операцій передискретизації та зміни часового масштабу аудіо сигналу.

Удосконалено:

- методологію оцінки якості декодування цифрового сигналу, який завдяки використанню опорних точок при визначенні магнітудного максимуму забезпечує незалежність операції ідентифікації від оригінального сигналу і маркера.

Отримали подальший розвиток:

- методи сегментації за опорними точками процедури маркерування аудіо сигналу, які базуються на псевдообертанні матриць подібності, що забезпечило стійке до вибору первинної топології і незалежне від моделі мовотворення, розбиття сигналу в різних областях енергії.

Практична цінність одержаних результатів. Розв’язання сформульованих завдань є основою побудови алгоритмів реконструкції цифрових аудіо сигналів. Запропонована методика орієнтована на одновимірні сигнали, проте при незначних доопрацюваннях її можна застосовувати для сигналів будь-якої розмірності (наприклад зображень).

Отримані в процесі дисертаційних досліджень схеми маркерування аудіо сигналів забезпечують надійність від декількох видів атак, таких, як шуму, обрізки, повторної дискретизації, повторного квантування, стиснення і фільтрації нижніх частот.

Особливістю розроблених методів маркерування є їх приналежність до категорії “сліпих” методів, оскільки для декодування водяного знаку з цифрового аудіо сигналу (ідентифікації сигналу) не потрібно жодних додаткових відомостей. Експериментальні дослідження підтвердили високу точність декодування водяного знаку з сигналу, яка становить, в середньому, 96%.

В процесі дисертаційних досліджень розроблено та удосконалено декілька методів сегментації звукового сигналу, які можуть ефективно доповнювати інші методи сегментації, які базуються на вибраних моделях мовотворення.

Розроблені на основі отриманих методів алгоритми були реалізовані на мові програмування C# з використанням технології Portable Class Library. Це дає можливість використання даного коду на різних платформах: мобільних (мобільні телефони та планшети під керуванням Windows 8/8.1 (Modern UI) та Windows Phone 8/8.1), настільних (Windows XP/7/8) та ігрових (Xbox).

Розроблене програмне рішення має модульну структуру, що дозволяє програмні реалізації алгоритмів обробки використати як складові частини комп’ютерних систем аналізу та синтезу аудіо сигналів.

Завершений програмний продукт реалізовано для платформи Windows та Windows Phone. Додаток для Windows Phone пройшов сертифікацію від Microsoft і є опублікований у інтернет-магазині Windows Phone Store під назвою DS Watermarker для вільного завантаження і використання.

Особистий внесок здобувача. В публікаціях у співавторстві дисертантові належать: метод виокремлення “псевдоінваріантів” цифрового аудіо сигналу за допомогою сингулярних векторів [2, 8, 9], метод знаходження інваріантів аудіо сигналу на основі псевдоінваріантів [4, 10], використання інваріантних моментів в задачах маркерування [11, 13, 14, 17], метод маркерування аудіо сигналів на основі інваріантних ділянок та спектральної метрики [12, 15, 16, 21, 22], метод маркерування аудіо сигналів з використанням показника гладкості Гельдера [3, 18, 19, 20], метод ідентифікації маркерованого сигналу на основі співпадіння оригінального і декодованого маркера [12], метод оцінки якості декодування водяного знаку з маркерованого сигналу [12, 22], побудова інваріантних ділянок аудіо сигналу на основі псевдообер-

тання несиметричної матриці самоподібності [5, 6], метод виділення інваріантних ділянок аудіо сигналу на основі псевдообертання матриці відносних несиметричних мір конвергенції [1, 5], метод сегментації аудіо сигналу на основі агрегатної матриці інформаційних функцій та ентропії [7].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації обговорювались на 10 науково-технічних міжнародних конференціях, зокрема:

1. The VIth International Scientific and Technical Conference “Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2011), (Lviv, November 16–19, 2011) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2011.
2. The 1st International Conference “Advanced Information Systems and Technologies, AIST 2012”, (Sumy, May 15-18, 2012) / Sumy State University. – Sumy 2012.
3. Міжнародна наукова конференція “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”, (Херсон, 27–31 травня 2012) / ХНТУ.– Херсон, 2012.
4. The VIIth International Scientific and Technical Conference “Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2012), (Lviv, November 20–24, 2012) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2012.
5. Третя Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційно-комунікаційні технології в сучасному світі: досвід, проблеми, перспективи”, Київ-Львів, 2012.
6. The XIIth International Conference “The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics” (CADSM 2013), (Polyana, February 19–23, 2013) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2013.
7. Міжнародна наукова конференція “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”, (Херсон, 20–24 травня 2013) / ХНТУ.– Херсон, 2013.
8. Міжнародна наукова конференція “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”, (Херсон, 28–31 травня 2014) / ХНТУ.– Херсон, 2014.
9. The IXth International Scientific and Technical Conference “Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2014), (Lviv, November 18–22, 2014) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2014.
10. The XIIIth International Conference “The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics” (CADSM 2015), (Polyana, Ukraine, February 24–27, 2015) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2015.

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 22 друковані праці, серед них 2 статті у закордонних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз (з імпаکت фактором), 5 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук (з них 2 входять до міжнародних наукометричних баз) та 15 публікацій у збірниках праць міжнародних наукових конференцій. На розроблені алгоритми одержано два державні свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів,

списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 116 стор. друкарського тексту. Дисертація містить 53 рисунки на 21 стор. Список використаних джерел складається із 145 найменувань на 16 стор. Чотири додатки розміщено на 11 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими програмами і темами. Подано відомості про апробацію результатів роботи та публікації, зазначено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** наведено класифікацію цифрових водяних знаків та аналіз методів маркерування аудіо сигналів. Зокрема розглянуто метод вбудовування інформації у найменш значущий біт даних з використанням ехосигналу, метод фазового кодування та метод вбудовування водяного знаку за допомогою розширення спектру аудіо сигналу. Проаналізовано сучасні технології маркерування цифрових аудіо сигналів.

На підставі цих досліджень з'ясовано, що цифрові водяні знаки, або маркери, є технологією, яка забезпечує і гарантує безпеку, автентифікацію даних і захист авторських прав на цифрову інформацію. Цифровим водяним знаком, або маркером, є секретна інформація, що вбудовується в цифровий сигнал, що може бути у вигляді зображення, аудіо чи відео. Пізніше вбудована інформація-маркер виявляється та екстрагується, щоб визначити реального власника чи справжність цифрових засобів масової інформації (ЗМІ). Водяні знаки-маркери використовуються з метою довести авторське право власності на ту чи іншу інформацію, запобігти копіюванню, перевірки справжності чи для приховування даних. Технології цифрових водяних знаків мають безліч застосувань в області захисту, сертифікації, поширення, боротьби з підробками цифрових ЗМІ та маркерування інформації користувача.

Системи цифрових водяних знаків – маркерів повинні відповідати певним вимогам для того, щоб бути ефективними і забезпечувати їх стійкість та надійність, зокрема:

- інформація-маркер повинна бути стійкою до наявності різнозбарвлених шумів, стисненню з втратами, фільтруванню, аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворень;
- інформація-маркер не повинна вносити в сигнал спотворення, що сприймаються системою слуху людини;
- спроба видалення інформації-маркеру повинна призводити до помітного пошкодження даних.

Водяний знак може бути прихований в цифрових даних явно або неявно. Для надійності водяного знаку потрібно застосувати ефективну техніку маркерування.

Систему маркерування та виявлення вбудованого водяного знаку показано на рис. 1. Входом в схемі є атакований сигнал з вбудованим водяним знаком-маркером, секретний або відкритий ключ і вихідні дані або оригінальний сигнал. Результатом

процесу відновлення водяного знаку є або відновлений водяний знак, або конфіденційне значення, за допомогою якого можна ідентифікувати водяний знак вбудований у сигналі.

Техніка виявлення водяних знаків називається “сліпою”, якщо вона не вимагає оригінальної інформації, щоб витягнути водяний знак. І навпаки, техніка виявлення називається “несліпою”, якщо для виявлення водяного знаку потрібна оригінальна інформація. “Несліпі” методи водяних знаків є надійнішими ніж “сліпі” через наявність оригінальної інформації на момент виявлення. Проте, “сліпі” методи більш популярні через зручність їх використання.

Основним недоліком “сліпих” методів маркерування є їх недостатня захищеність від несанкціонованого виявлення маркеру сторонніми особами чи засобами.

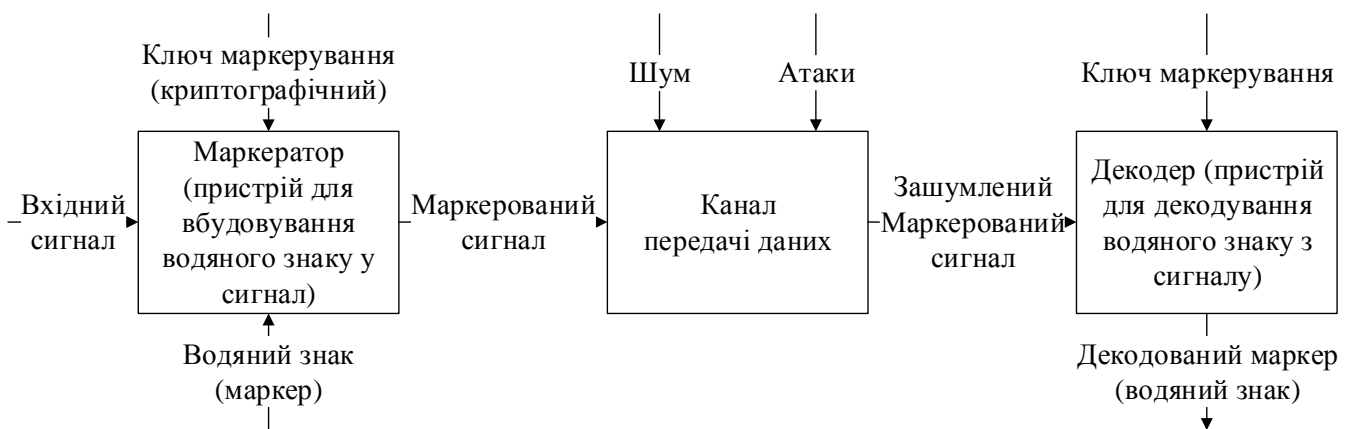


Рисунок 1 – Система маркерування

Проведений аналіз сучасних методів маркерування цифрових аудіо сигналів засвідчив необхідність розробки нових методів маркерування, які будуть задовольняти основним вимогам цифрових водяних знаків. У відповідності до цього визначено основні завдання наукового дослідження, викладеного у дисертаційній роботі.

Другий розділ містить опис методів сегментації цифрових аудіо сигналів, які дозволяють підвищити стійкість водяного знаку до зовнішніх атак та зменшити імовірність несанкціонованого виявлення водяного знаку у аудіо сигналі.

Задача первинного поділу аудіо сигналу є однією із ключових комплексних задач захисту аудіо сигналів, успішне розв’язання якої, зазвичай, визначає ефективність розв’язку проблеми в цілому. За своєю природою аудіо сигнал є нестационарним. Проте завдяки інерційності артикуляторів (губи, язик, тощо) в ньому можна виділяти ділянки, спектральний склад яких є дуже близьким. Такі ділянки називають стаціонарними, (насправді квазістаціонарними), а процес їх виділення – сегментацією. В кожному випадку результати поділу сигналу на сегменти мають суб’єктивний характер, оскільки повністю залежать від вибраного методу подальшої обробки.

Оскільки аудіо сигнал володіє властивістю квазістаціонарності, тобто не залежить від системи координат і дуже часто є спотвореним або зашумленим, задачі інтелектуальної обробки даних можуть зводитися до побудови фундаментальних просторів ознак, за допомогою яких можна розділити два нееквівалентні об’єкти.

Для вирішення задачі виділення сегментів аудіо сигналу інваріантними ділян-

ками, наведемо її строге математичне формулювання.

Нехай, в просторі \mathbf{R}^1 задано компакт $\tau = [0; T]$, $T \in \mathbf{R}^1$, $T > 0$, який виступатиме областю визначення аудіо сигналу $x(t)$, $t \in \tau$. Тоді сам аудіо сигнал можна розглядати неперервним сюр'єктивним відображенням.

Неперервне відображення $x(t)$ з покриття χ , породжує покриття η (необов'язково диз'юнктивне) області значень $X \subseteq \mathbf{R}^1$ функції $x(t)$

$$\eta = \{X_i \mid i = 1..n\}, \quad x(t) = \bigcup_{i=1}^n X_i, X_i \in \eta, \quad (1)$$

де $X_i = \{x(t) \mid t \in T_i\}$ – елемент покриття η . Потужність покриття η завдяки неперервності $x(t)$ є рівна потужності покриття χ : $|\eta| = |\chi| = n$. Очевидно також, що потужність елемента X_i є рівною потужності елемента T_i .

На практиці, компакт τ розглядають дискретним і скінченним. Елементи T_i покриття χ такого компакту також будуть дискретними, скінченними і однакової потужності. А це визначає взаємний гомеоморфізм елементів T_i . Тоді потужність компакту τ з диз'юнктивним покриттям χ топології Γ визначатиметься за формулою Грасмана.

У результаті, задачу сегментації аудіо сигналу $x(t)$ на дискретному компактi τ , при визначеному диз'юнктивному покритті χ , можна сформулювати, як синтез нового представлення сигналу $x(t)$ на компактi τ

$$Y_i = \bigcup_{j=I_i}^{m_i+I_i-1} X_j, \quad (2)$$

де m – кількість інваріантних ділянок Y_i . Інваріантна ділянка (надалі інваріант) Y_i є деяким об'єднанням послідовних елементів покриття η , I_i – початковий індекс об'єднання (2) в покритті η , при цьому завжди $I_1 = 1$; m_i – кількість елементарних ділянок X_j в об'єднанні (2).

Сегментація аудіо сигналу на основі сингулярного розкладу матриці відносних асиметричних мір конвергенції. Для побудови матриці відносних асиметричних мір конвергенції, дискретизований сигнал $x(t)$ зсунемо в додатну область. Тоді для будь-якого i матричний оператор ∇_i – перетворення l -вимірного вектора X_i покриття η , визначеного на проміжку T_i , будемо як один із видів матриці подібності, а саме як матрицю відносних несиметричних мір конвергенції (матриця включення), елементи якої є несиметричними мірами подібності об'єктів:

$$\forall i \in [1; n]: \quad \nabla_i = \left[\left(\frac{x(t_k)}{x(t_z)} \right)^{-1} \right]_{z=1, l}^{k=1, l}, \quad t_j \in T_i. \quad (3)$$

Розмірність оператора (3) рівна: $\dim \nabla_i = l \times l$.

У роботі показано, що оператор (3) є квадратною виродженою невід'ємною ма-

трицею. Зокрема, невід'ємність впливає із зсуву в додатну область та нормування сигналу $x(t)$, а невиродженість – за методом головних мінорів.

Використання операції сингулярного розкладу (розклад SVD) забезпечує наступне представлення оператора ∇_i

$$\nabla_i = U_i \Sigma_i V_i^*, \quad (4)$$

де U_i , V_i – унітарні матриці порядку $l \times l$; V_i^* – спряжено-транспонована матриця до V_i ; Σ_i – діагональна матриця порядку $l \times l$, яка складається із сингулярних чисел $\{\sigma_{i,q} | q = 1..l\}$ таких, що кожне наступне є меншим за попереднє. Оскільки ∇_i є матрицею дійсних чисел, то $V_i^* = V_i^T$.

Надалі визначимо число обумовленості оператора ∇_i . Оскільки норма Фробеніуса у матричному випадку має вид

$$\|\nabla_i\| = \max_{1 \leq q \leq l} (\sigma_{i,q}), \quad (5)$$

тоді за визначенням сингулярних чисел маємо, що $\|\nabla_i\| = \sigma_{i,1}$.

Якщо прийняти до уваги виродженість матриці ∇_i , тоді за (5) число обумовленості, яке відповідає i -му елементу покриттів χ та η буде визначатись як

$$\mu_i = \max_{\substack{1 \leq q \leq l \\ \sigma_{i,q} \neq 0}} \left(\frac{\sigma_{i,1}}{\sigma_{i,q}} \right). \quad (6)$$

Надалі, на множині елементів X_i покриття η , можна породити метричний простір за допомогою евклідової метрики

$$\forall i, j \in [1, n]: \rho_{\text{SVD}}(X_i, X_j) = |\mu_i - \mu_j|. \quad (7)$$

Метрика (7) використовується, як міра подібності елементарних ділянок (МПЕД), для випадку використання характеристик сингулярних розкладів. Використовуючи цю метрику, визначимо умову належності (УН) елементарної ділянки X_j до інваріанту Y_i .

$$Y_i = \bigcup_{j=\phi_1+1}^{\phi_2} X_j, \quad \phi_1 = \sum_{k=1}^{i-1} m_k, \quad \phi_2 = \phi_1 + m_i. \quad (8)$$

Алгоритм визначення m_i полягає у такому. Нехай деяка УН визначена МПЕД. Якщо ця умова між ділянкою, яка визначає початок стаціонару і ділянкою, яка слідує після наступної, що входить в стаціонар, виконується, то збільшується значення m_i , а остання ділянка вважається такою, що включена в стаціонар. В протилежному випадку починається побудова нового стаціонару.

Сегментація на основі псевдообертання матриці відносних асиметричних мір

конвергенції. Нехай задано дискретизований аудіо сигнал (1) із визначеними диз'юнктивними покриттями χ та η та невід'ємним виродженим оператором (3).

Для вирішення завдання виділення векторів, які виступатимуть характеристиками елементарної ділянки аудіо сигналу для кожного елемента покриття χ розглянемо рівняння

$$\nabla_i y_i = x_i, \quad (9)$$

де $x_i = \{x(t_p) \in X_i \mid p = 1..l\}$; $y_i = (y_{i,1}, \dots, y_{i,l})$ – l -вимірний вектор амплітудних значень аудіо сигналу $x(t)$ на i -му інтервалі.

Так, як матриця ∇_i є виродженою ($\det(\nabla_i) = 0$), то обернена матриця ∇_i^{-1} не існує. Тому для вирішення задачі обчислення y_i за теоремою про мінімізацію нев'язки $\|x_i - \nabla_i y_i\|^2$ лінійної системи (9), пропонується такий спосіб визначення вектора y_i

$$y_i = \nabla_i^+ x_i + (1 - \nabla_i^+ \nabla_i) r_i, \quad (10)$$

де ∇_i^+ – узагальнена обернена матриця Мура-Пенроуза (псевдообернена до ∇_i матриця); $(1 - \nabla_i^+ \nabla_i)$ – оператор проектування на ядро оператора ∇_i ; r_i – випадковий вектор розмірності l . Перший доданок у (10) виступає псевдооберненим рішенням, а другий – є розв'язком однорідної системи $\nabla_i y_i = 0$. Наведений через (10) спосіб визначення вектора характеристик i -го елемента покриття χ є можливим, оскільки матриця $\nabla_i^+ \nabla_i$ не є виродженою.

Матриця Мура-Пенроуза ∇_i^+ визначається за сингулярним розкладом матриці ∇_i . В результаті сингулярного розкладу матриці ∇_i отримаємо діагональну матрицю Σ_i . Оскільки матриця Σ_i є також виродженою, то матриця Σ_i^+ отримується з Σ_i шляхом заміни усіх ненульових сингулярних чисел $\sigma_{i,q}$ на відповідно обернені до них $1/\sigma_{i,q}$. Отримавши матрицю Σ_i^+ та обернені матриці до матриць сингулярного розкладу, можна визначити матрицю ∇_i^+ .

Якщо у цьому просторі ввести метрику, то задача виділення алгебраїчних характеристик зводиться до об'єднання близьких за метрикою елементів отриманого метричного простору. Якщо метрикою вибрати метрику Хаусдорфа, то за нею близькість двох елементів Λ_i і Λ_j , $i, j \in [1; l]$, простору Λ буде визначатись так

$$\rho_H(\Lambda_i, \Lambda_j) = \max \left\{ \sup_{y_i \in \Lambda_i} \inf_{y_j \in \Lambda_j} \rho(y_i, y_j), \sup_{y_j \in \Lambda_j} \inf_{y_i \in \Lambda_i} \rho(y_i, y_j) \right\}_{i=1..l}, \quad (11)$$

де $\rho(y_i, y_j)$ – відстань між точками множин Λ_i і Λ_j .

За метрикою (11) стаціонар формується за правилом – будь-яка множина

$\{X_n \dots X_m\}$ послідовних елементів покриття η утворює стаціонар Y_i (2), якщо для будь-яких двох елементів цієї множини метрика (11) не перевищує наперед заданого відхилення Δ .

Оскільки стаціонари утворюють диз'юнктивне покриття, то побудову наступної стаціонарної ділянки треба розпочинати із $m+1$ -го елемента покриття η .

Сегментація аудіо сигналу на основі псевдооберненої агрегатної матриці інформаційних функцій. При побудові агрегатної матриці інформаційних функцій на відміну від матричного оператора асиметричних мір конвергенції ∇_i , аудіо сигнал $x(t)$ не нормується і не зсувається в додатну область. Амплітудні значення елементарного сегменту X_i , які відповідають елементарній ділянці T_i , без жодних додаткових перетворень використовуються для побудови оператора ∇_i :

$$\forall i \in [1; n]: \nabla_i = \begin{pmatrix} \min(x_{i,1}, x_{i,1}) & \min(x_{i,1}, x_{i,2}) & \dots & \min(x_{i,1}, x_{i,l}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{j=1}^l \min(x_{i,j}, x_{i,1}) & \sum_{j=1}^l \min(x_{i,j}, x_{i,2}) & \dots & \sum_{j=1}^l \min(x_{i,j}, x_{i,l}) \end{pmatrix}, \quad (12)$$

де i – індекс елементарної ділянки X_i , $x_{i,j} = x(t_j)$, $t_j \in T_i$. Елемент $\delta_{i,(z,j)}$ матриці (12) визначається так: $\delta_{i,(z,k)} = \sum_{j=1}^z \min(x_{i,j}, x_{i,k})$.

Зважаючи на те, що (12) є квадратною виродженою невід'ємною матрицею, отримаємо вироджену систему лінійних рівнянь $\nabla_i g_i = x_i$.

Тоді для виділення векторів g_i , які виступатимуть алгебраїчними характеристиками елементарної ділянки аудіо сигналу, для кожного елемента покриття χ , можна використати схему псевдообертання Мура-Пенроуза та розв'язання системи лінійних рівнянь (10).

Надалі з векторів g_i будується матриця Y , елементи якої необхідно зсунути у додатну область і пронормувати. В результаті отримується матрицю P , яка є множиною векторів $P = \{p_i = (p_{i,1}, \dots, p_{i,l}) \mid i = 1..n\}$.

Завдяки умові зсуву в додатну область, елементи $p_{i,j}$ матриці P можна розглядати як дискретний розподіл імовірності величини X_i на часовому інтервалі T_i , що дає можливість визначити взаємну інформацію двох елементів p_i , та p_j

$$I(p_i, p_j) = H(p_i) + H(p_j) - H(p_i, p_j); \quad \mu(X_i, X_j) = 2I(p_i, p_j), \quad (13)$$

де $H(p_i)$ – ентропія випадкової величини p_i , яка обчислюється як сума добутків елементів вектора на їх двійковий логарифм; $H(p_i, p_j)$ – загальна умовна ентропія двох випадкових величин p_i і p_j . Елементи $p_{i,j}$ є “вагами” елементів покриття η . У результаті цього отримується дескриптивна множина $p(X)$. Тоді μ є коефіцієнтом подібності $X_i, X_j \in \eta$.

Використовуючи (13), отримаємо множину значень коефіцієнтів подібності послідовних ділянок $X_i \in \eta$.

Наступним кроком є виділення з I за пороговими значеннями $\Delta_{\max}, \Delta_{\min}, > 0$ точок локальних екстремумів

$$\Lambda = \{i \in [2, n] \mid \min(\mu_{i,i+1}) < \Delta_{\min} \vee \max(\mu_{i,i+1}) > \Delta_{\max}\}. \quad (14)$$

Розмірність множини Λ рівна m , а значення $i \cdot l, i \in \Lambda$ – є границями розбиття за стаціонарними ділянками $Y_j \in \eta'$ сигналу $x(t)$.

Третій розділ містить опис “сліпих” методів маркерування аудіо сигналів, за допомогою використання показника гладкості Гельдера та методу локальних магнітуд на аудіо сигналі і його спектрі. Особливістю цих методів є висока точність декодування водяного знаку і незалежність від оригінальних даних, сигналу та водяного знаку.

Схема вбудовування/декодування цифрового водяного знаку у аудіо сигнал складається з наступних кроків:

1. Сегментація сигналу;
 - а. Топологічне представлення сигналу у вигляді диз'юнктивного розбиття сегментів;
2. Обчислення спектру сигналу на сегментах;
3. Визначення ключових точок (частотних відліків на сегментах) для маркерування:
 - а. за методом локальних магнітуд;
 - б. за допомогою показника гладкості Гельдера;
4. Вбудовування маркеру у сигнал;
 - а. Перетворення цифрового маркера у бінарну форму;
5. Декодування маркеру з сигналу:
 - а. Обчислення результатів ідентифікації оригінального та маркерованого сигналів;
 - б. Обчислення результатів порівняння оригінального і декодованого водяних знаків.

Останні два пункти (5а та 5б) виконуються лише в лабораторних експериментах для підтвердження якості роботи методу, або в системах із підтвердження водяного знаку.

Після сегментації сигналу за одним із розроблених методів сегментації, задача маркерування зводиться до пошуку відповідних відліків сигналу для вбудовування/декодування водяного знаку на сегменті. Основними критеріями при виборі таких відліків для маркерування є складність їх виявлення сторонніми особами чи засобами; можливість їх обчислення після спотворень/реконструкції сигналу чи фільтрації, невідчутність внесених змін для людського вуха, мінімізація втрати даних. Для цього необхідно знайти найбільш “сприятливі” ділянки сигналу, які отримають мінімальні спотворення в процесі реконструкції. Сам пошук ділянок пропонується здійснити через обчислення показника Гельдера та за допомогою методу локальних магнітуд. Для підвищення стійкості методу до шумів, фільтрації та інших небажа-

них спотворень, пропонується проводити всі обчислення на спектрі вхідного сигналу, який будується за допомогою перетворення Фур'є.

Обчислення відліків для маркерування на основі показника гладкості Гельдера. Нехай маємо стохастичний недетермінований дискретний аудіо сигнал, який будемо розглядати на прикладі функції $x(t)$. Припустимо, що сигнал $x(t)$ на проміжку Y_i , який є стаціонарним сегментом, є гладкою кривою порядку k . Тоді функція $x(t)$ в точці l , $l \in Y_i$, задовольняє показнику Гельдера α , $0 \leq \alpha \leq 1$, якщо існує константа $A \in \mathbf{R}$ і для всіх точок t з околу l виконується умова

$$|x(t) - x(l)| \leq A|t - l|^\alpha. \quad (15)$$

Функція $x(t)$ на $[a, b]$ задовольняє показнику Гельдера α , якщо $x(t)$ задовольняє умову Гельдера α для всіх $l \in [a, b]$, з константою $A \in \mathbf{R}$, яка не залежить від l .

В процедурі маркерування важливим є поліноміальне наближення сигналу з умовою (15): функція $x(t)$ в точці l , $l \in Y_i$ задовольняє показнику Гельдера α , $\alpha \geq 1$, тоді і тільки тоді, коли існує константа $A \in \mathbf{R}$ і поліном $p_l(t)$ степені $m = \lfloor \alpha \rfloor$ такий, що для всіх точок t в околі l виконується умова

$$|x(t) - p_l(t)| \leq A|t - l|^\alpha. \quad (16)$$

Як відомо на кожному проміжку Y_i багаточлен $p_l(t)$ визначається єдиним способом. Якщо x неперервно диференційована $k = \lfloor \alpha \rfloor$ раз на проміжку Y_i , то $p_l(t)$ є розкладом Тейлора $x(t)$ в точці l . Якщо $x(t)$ задовольняє рівномірній умові Гельдера $\alpha > t$ на проміжку Y_i , то можна переконатися, що $x(t)$ обов'язково k -раз неперервно диференційована на цьому проміжку. Рівномірна гладкість Гельдера функції $x(t)$ на проміжку Y_i пов'язана з асимптотичним спадом її перетворення Фур'є.

Обчислення відліків для вбудовування водяного знаку за методом локальних магнітуд. Пошук відліків сигналу, за даним методом, полягає у розв'язанні задачі пошуку точної верхньої грані множини відстаней $\|x(t) - x(l)\|$, визначених на нескінченній множині значень функції-сигналу $x(t)$, який, у свою чергу, визначений на відрізьку T :

$$D = \sup_{t, l \in T} \|x(t) - x(l)\|. \quad (17)$$

У випадку дискретизованого і попередньо сегментованого звукового сигналу екстремальна задача (17) зводиться до задачі пошуку максимальної відстані на проміжку Y_i за амплітудними значеннями дискретизованого сигналу $x(t)$

$$d_i = \max_{j', j'' \in [0, \dim(Y_i)]} (\|x_{i+j'} - x_{i+j''}\|). \quad (18)$$

Вибір метрики d_i у формулі (18) є окремою задачею. У найпростішому випадку метрику (18) можна визначити як евклідову відстань. Такий спосіб визначення мет-

рики має просте пояснення – евклідова відстань на практиці має найменшу обчислювальну складність. А тому, у системах маркерування реального часу, у випадках використання обчислювальних середовищ малої потужності її вибір є обґрунтованим.

Очевидно, що при достатніх обчислювальних ресурсах, можна обрати набагато складніші метрики. Наприклад, якщо на проміжку Y_i сформувати вектори, елементи яких будуть ознаковими характеристиками, то визначення відстані d_i буде також ознаковою. Проте зазначимо, що такі метрики матимуть вплив не стільки на якість самої процедури маркерування, скільки на стійкість методу маркерування і його адаптивність до ознакових характеристик. Загалом треба відзначити, що дослідження впливу метрик на стійкість маркерування виходить за межі дисертаційного дослідження, а тому в роботі не розглядається.

Схема вбудовування та декодування цифрового водяного знаку у аудіо сигнал. Після обчислення відліків для маркерування, біти водяного знаку, які можуть виражати текст, інший аудіо сигнал, зображення, тощо, послідовно вбудовуються у визначені відліки за наступною схемою:

- При вбудовуванні 0-го біту – скидаються (занулюються) молодші біти трьох відліків зліва від ключового відліку, обчисленого за одним з методів: локальних магнітуд чи показника гладкості Гельдера, а при вбудовуванні 1-го біту скидаються молодші біти трьох відліків справа.

- При декодуванні маркера порівнюються суми молодших бітів трьох сусідніх відліків зліва і справа від точки маркерування. На основі результатів порівняння отримуємо біт маркеру.

На рис. 2 схематично зображено фрагмент аудіо сигналу (моно), який складається з семи відліків. По центру даного фрагменту розміщено відлік, який визначає початкову точку вбудовування водяного знаку. Чорним квадратом на кожному відліку позначено молодший біт, який буде використовуватись в процедурі маркерування. Зазвичай, відлік складається з одного або двох байтів, в залежності від характеристик сигналу.

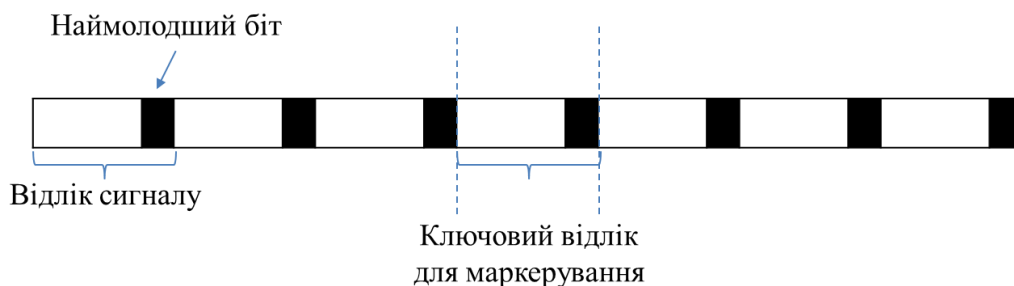


Рисунок 2 – Схема вбудовування/декодування водяного знаку у аудіо сигнал

У випадку стерео сигналу, таких фрагментів буде два і їх можна розглядати як два окремих сигнали і відповідно вбудовувати вдвічі більше інформації.

На рис. 3 наведено результати ідентифікації аудіо сигналу на основі співпадіння оригінального і декодованого водяного знаку з використанням показника гладко-

сті Гельдера і методу локальних магнітуд при стаціонарному розбитті і сегментації спектру сигналу. На графіку добре видно, що зі зростанням тривалості аудіо сигналу, починаючи від 15 секунд, всі методи працюють майже однаково ефективно, з похибкою менше 2%. В процесі аналізу результатів експериментів виявлено, що застосування сегментації сигналу покращує прихованість водяного знаку і зменшує імовірність його виявлення сторонніми особами чи засобами.

На рис. 4 наведено порівняльні результати роботи існуючих і розроблених “сліпих” методів маркерування, тобто методів, які не потребують вхідного сигналу чи маркеру для декодування водяного знаку з сигналу.

З наведених результатів можна побачити, що в порівнянні з існуючими методами, розроблені демонструють вищу точність ідентифікації декодованого маркера. Характер підвищення точності ілюструє діаграма наведена на рис.4. При цьому ця перевага зберігається на аудіо сигналах з різними характеристиками, зокрема при різній тривалості аудіо сигналу.

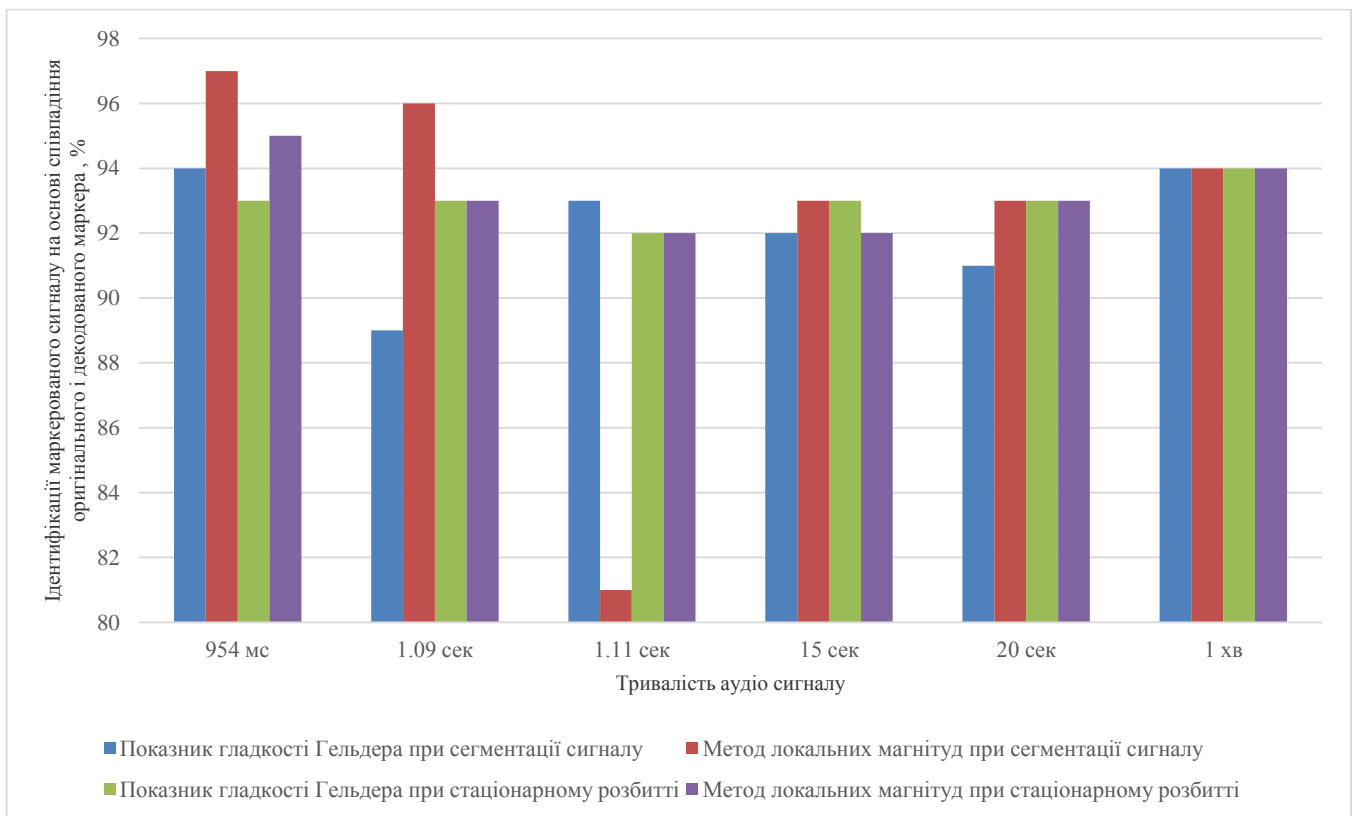


Рисунок 3 – Порівняльні результати ідентифікації сигналу – співпадіння оригінального і декодованого маркеру для сигналів різної тривалості при використанні розроблених методів на стаціонарному розбитті та при сегментації спектру

На підставі проведених експериментів доведено, що удосконалений метод цифрового маркерування аудіо сигналів за допомогою показника Гельдера і сегментації сигналу, покращує пошук максимальних амплітуд на спектрі, що дає більш точний результат в процесі вбудовування та декодування водяного знаку у аудіо сигнал.

Четвертий розділ. У розділі приводиться опис програмної реалізації, розроблених в дисертаційній роботі методів попередньої обробки та маркерування цифро-

вих аудіо сигналів.

Розроблена програма автоматизує процес ідентифікації цифрового сигналу за допомогою додавання будь-якої персоніфікованої інформації заданої у форматі бітової послідовності. Особисті дані приховуються у сигналі таким чином, щоб їх неможливо було виявити сторонніми особами чи засобами.

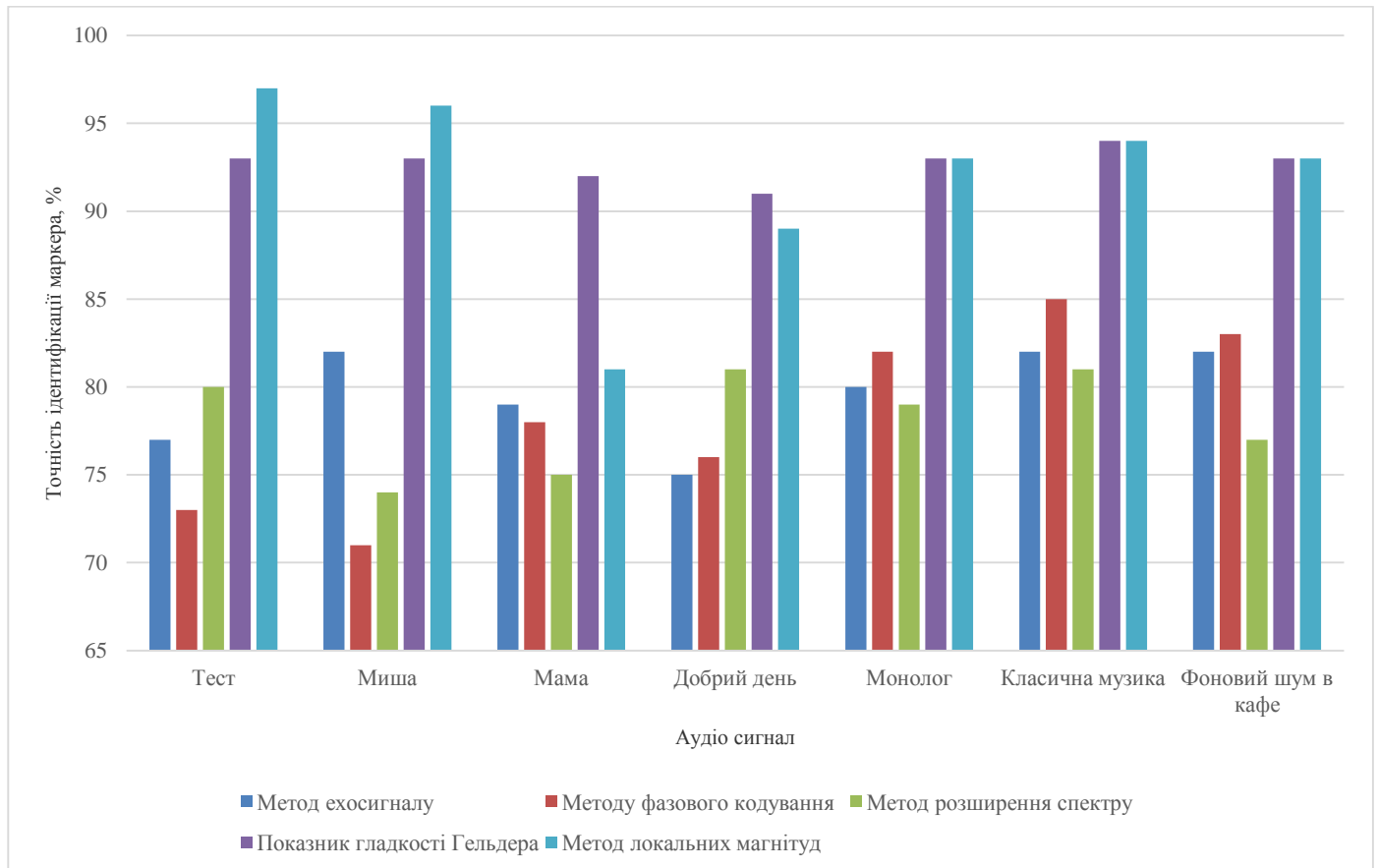


Рисунок 4 – Порівняння результатів роботи існуючих і розроблених методів маркерування

Шляхом маркерування реалізовано додавання персоніфікованої інформації у окремі частини сигналу. Для пошуку найбільш оптимальних ділянок маркерування використано показник гладкості Гельдера та метод локальних магнітуд. Оптимальність тут визначається мінімізацією спотворень при реконструкції сигналу.

Розроблене програмне рішення реалізоване на мові програмування C# з застосуванням архітектурного дизайн-паттерну MVVM (Model-View-ViewModel). Використання цього паттерну забезпечує високий рівень модульності програмного рішення, що дає можливість легкої заміни тих чи інших компонент, як інтерфейсної так і функціональної частин.

За допомогою ігрової платформи Microsoft XNA Framework реалізовано графічний потік та роботу з мультимедійними засобами (мікрофон/динамік) мобільного пристрою.

Усі програмні модулі, окрім користувацького інтерфейсу, реалізовані на технології Portable Class Library. Це забезпечило створення однієї реалізації усіх необхідних методів і функцій для маркерування і розбиття за опорними точками аудіо сиг-

налу для різних платформ (операційних систем). В результаті чого реалізовано два програмних рішення: для операційної системи Windows (desktop) та для мобільної платформи Windows Phone. Програмне рішення для платформи Windows Phone пройшло технічну сертифікацію від Microsoft і є доступним для вільного завантаження у Windows Phone Store. Програму опубліковано під назвою DS Watermarker (посилання на програму: <http://www.windowsphone.com/en-us/store/app/ds-watermarker/6c479bed-bf0c-466b-81dc-50a64fa93bc4>).

Схема архітектури програмного рішення наведена на рис. 5.

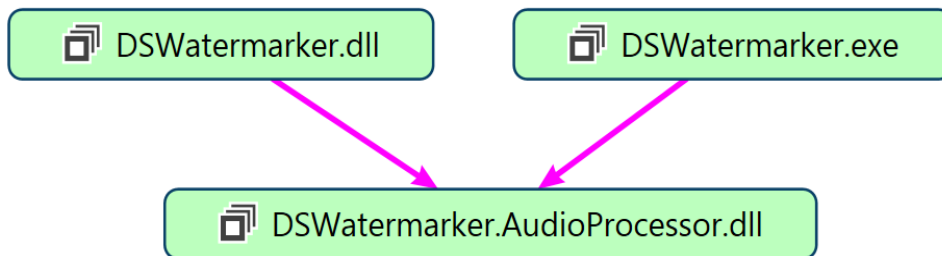


Рисунок 5 – Основні модулі програмного рішення

Модулі DSWatermarker.exe та DSWatermarker.dll відповідають за користувацькі інтерфейси для операційних систем Windows та Windows Phone відповідно.

У модулі AudioProcessor, який зображено на рис. 6, реалізовані необхідні функції для попередньої обробки аудіо сигналів та для подальшого їх опрацювання.

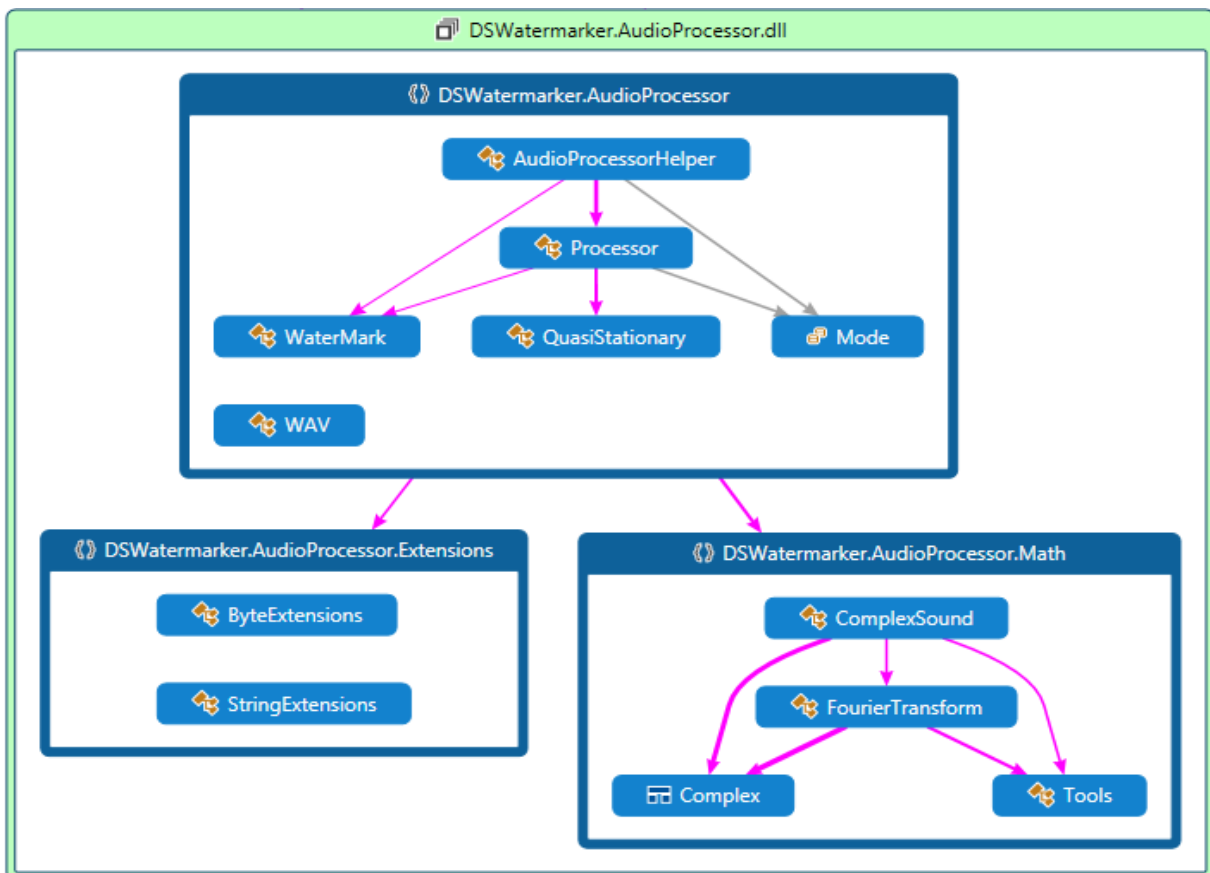


Рисунок 6 – Розширена схема модулів і компонент програмного рішення

Центральною частиною даного модуля є Processor. Він відповідає за весь процес попередньої обробки, розбиття за опорними точками, маркерування та ідентифікації цифрового аудіо сигналу.

Компонента AudioProcessorHelper обгортає функції Processor-а для полегшення його використання і додатково реалізує функції необхідні для виводу інформації для користувача. Такими функціями є:

- обчислення результатів якості методу маркерування з різними вхідними параметрами;
- стаціонарне розбиття чи розбиття за опорними точками, використання ШПФ для побудови спектру цифрового аудіо сигналу,
- маркерування за допомогою методу Гельдера чи методу локальних магнітуд;
- зворотне маркерування для порівняння початкового і отриманого цифрових водяних знаків;
- порівняння початкового, маркерованого та декодованого водяних знаків.

Компонента QuasiStationary містить реалізацію алгоритмів розбиття аудіо сигналу, зокрема стаціонарне розбиття і розбиття за опорними точками. Компонента WaterMark імплементує модель даних водяного знаку та додаткові функції для перетворення цифрового водяного знаку у бінарну форму і навпаки. У компоненті Extensions розміщені додаткові функції для роботи з стрічковими і бінарними наборами даних. Компонента Mode відповідає за вибір методу розбиття аудіо сигналу, а WAV – описує структуру аудіо сигналу у форматі wave. Для підвищення продуктивності роботи програмного рішення було застосовано підхід паралельних обчислень для визначення показників УН елементарних ділянок аудіо сигналу.

ВИСНОВКИ

В дисертаційному дослідженні було розв'язано актуальну наукову задачу, яка полягає у розробленні нових методів маркерування, які незалежно від характеристик звукового сигналу володіють оптимальним співвідношенням надійності та прихованості і є незалежні від моделі мовотворення.

При цьому отримано такі науково-практичні результати:

1. Проведений аналіз літературних джерел дозволив виділити класи “сліпих” та “напівсліпих” методів маркерування, для яких актуальною задачею є їх доопрацювання з огляду на пропускну здатність, стійкість та точність ідентифікації маркерованого сигналу.
2. Удосконалені методи сегментації за опорними точками процедури маркерування аудіо сигналу, які для виділення характеристик звукового сигналу використовують псевдообертання матриць подібності, володіють властивістю інваріантності до первинного топологічного покриття сигналу і забезпечують ефективну сегментацію в різних областях енергії сигналу.
3. Сегментація звукового сигналу на основі сингулярного розкладу матриці відносних мір конвергенції доповнює існуючі методи сегментації, які базуються

на вибраних моделях мовотворення, що дає змогу покращити параметричну ідентифікацію звукового сигналу в задачах його інтелектуального аналізу.

4. Розроблений метод маркерування аудіо сигналу, який базується на сегментації та пошуку спектральних магнітуд, є незалежним від характеристик вхідного сигналу, дає можливість маркерувати цифрові сигнали з мінімальними інформаційними втратами і забезпечує високу надійність від таких видів атак як зашумлення, обрізання, повторна дискретизація, повторне квантування, стиснення і фільтрація нижніх частот.
5. Розроблений метод вбудовування водяного знаку у аудіо сигнал, який базується на сегментації та коефіцієнті гладкості Гельдера є стійким до операцій передискретизації та зміни часового масштабу мовного сигналу і забезпечує точність ідентифікації на рівні 96%.
6. Розроблений метод оцінки якості декодування цифрового сигналу, який завдяки розв'язанню задачі пошуку магнітудного максимуму на множині опорних точок забезпечує незалежність операції ідентифікації від оригінального сигналу і маркера.
7. Розроблене, на основі отриманих теоретичних та практичних результатів дисертаційного дослідження, програмне забезпечення, яке реалізовує отримані методи сегментації, маркерування та ідентифікації маркерованих цифрових сигналів, пройшло сертифікацію компанії Microsoft і є доступним для використання в інтернет магазині цієї компанії.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Peleshko D. Automatic initial segmentation of speech signal based on symmetric matrix of distances / D. Peleshko, Yu. Pelekh, M. Rashkevych, Yu. Ivanov, I. Verbenko // International Journal of Computers & Technology. – 2014. – Vol. 13, No. 9. – P. 4782-4791. (Входить до міжнародних наукометричних баз DOAJ, Cite Factor, World Cat, EBSCO, Ulrich Web та інші).
2. Peleshko D. Constructing of pseudoinvariants and digital watermarking of speech signals based on a singular value decomposition / D. Peleshko, Yu. Pelekh, I. Izonin // Journal of Global Research in Computer Science. – 2013. – Vol. 4, No. 2. – P. 56-59. (Входить до міжнародних наукометричних баз DOAJ, World Cat та інші).
3. Pelech Yu. Marking speech signal based on factor Hölder smoothness and fast Fourier transform / Yu. Pelech, D. Peleshko // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – Львів. – 2014. – №800. – С. 16-21. (Входить до міжнародної наукометричної бази INSPEC).
4. Пелешко Д.Д. Виділення псевдоінваріантів та квазістаціонарних ділянок мовних сигналів на основі сингулярних розкладів / Д.Д. Пелешко, А.М. Ковальчук, Ю.М. Пелех, В.І. Киричук // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – Львів. – 2012. – №732. – С. 58-66. (Входить до міжнародної наукометричної бази

INSPEC).

5. Рашкевич Ю.М. Виділення квазістаціонарних ділянок мовного сигналу на основі псевдообертання матриці відносних несиметричних мір конвергенції / Ю.М. Рашкевич, Д.Д. Пелешко, Ю.М. Пелех, М.З. Пелешко // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: зб. наук. праць. – Львів. – 2014. – №9. – С. 14-20.
6. Пелешко Д.Д. Автоматична первинна сегментація мовного сигналу на основі симетричної матриці відстаней / Д.Д. Пелешко, М.І. Рашкевич, Ю.М. Пелех // Наукові праці: науково-методичний журнал. – Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили. – 2014. – Вип. 225., Т.237. – С. 66-72.
7. Пелешко Д.Д. Сегментація мовного сигналу на основі агрегатної матриці інформаційних функцій та ентропії / Д.Д. Пелешко, М.І. Рашкевич, Ю.М. Пелех, М.З. Пелешко // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ. – 2013. – Вип. 6 (89). – С.105-115.
8. Peleshko D. Singular decomposition in a speech signal processing / D. Peleshko, A. Kovalchuk, Yu. Pelekh, M. Peleshko // Proceedings of the VIth International Scientific and Technical Conference [“Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2011)], (Lviv, November 16-19, 2011) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Publishing House Vezha&Co, 2011. – P. 19-20.
9. Rashkevych Yu. Speech signal pseudo invariants / Yu. Rashkevych, D. Peleshko, A. Kovalchuk, M. Kupchak, Yu. Pelekh // Proceedings of the VIth International Scientific and Technical Conference [“Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2011)], (Lviv, November 16-19, 2011) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Publishing House Vezha&Co, 2011. – P. 21-22.
10. Пелешко Д. Виокремлення квазістаціонарних ділянок мовного сигналу на основі псевдоінваріантів / Д. Пелешко, Ю. Пелех, В. Киричук // Матеріали Першої міжнародної науково-технічної конференції [“Advanced Information Systems and Technologies, AIST-2012”], – (Суми, 15-18 травня 2012 р.) / Сумський державний університет. – Суми, 2012. – С. 16-17.
11. Пелешко Д. Модифікація методу маркування мовних сигналів на основі моментів Зерніке / Д. Пелешко, А. Ковальчук, Ю. Пелех, В. Киричук // Матеріали міжнародної наукової конференції [“Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту” (ISDMCI-2012)], (Херсон, 27-31 травня 2012) / ХНТУ. – Херсон, 2012. – С. 392-393.
12. Peleshko D. Digital Watermarking of Speech Signals / D. Peleshko, Yu. Pelekh, I. Izonin // Proceedings of the VIIth International Scientific and Technical Conference [“Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2012)], (Lviv, 20-24 November 2012) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2012. – P. 108.
13. Peleshko D. System of image recognition based on Zernike moments / D. Peleshko, A. Kovalchuk, I. Izonin, Yu. Pelekh // Proceedings of the VIIth International Scientific and Technical Conference [“Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2012)], (Lviv, 20-24 November 2012) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2012. – P. 123-124.

14. Peleshko D. Reconstruction of speech signal based on Zernike moments / D. Peleshko, Y. Tolstikov, I. Izonin, Yu. Pelekh // Proceedings of the VIIth International Scientific and Technical Conference [“Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2012)], (Lviv, 20-24 November 2012) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic, 2012. – P. 127-128.
15. Peleshko D. Digital Watermarking of Speech Signals Based on Quasistationary Areas / D. Peleshko, Yu. Pelekh, I. Izonin // Proceedings of the XIIth International Conference [“The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics” (CADSM 2013)], (Polyana, Ukraine, February 19-23, 2013) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2013. – P. 283.
16. Рашкевич Ю. Маркування мовного сигналу на основі використання спектральної метрики / Ю. Рашкевич, Д. Пелешко, Ю. Пелех, І. Ізонін // Матеріали міжнародної наукової конференції [“Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”, (ISDMCI-2013)], (Херсон, 20-24 травня 2013) / ХНТУ. – Херсон, 2013. – С.258-260.
17. Пелешко Д. Розробка програмної підсистеми розпізнавання зображень на основі моментів Зерніке для автоматизованих систем відео нагляду / Д. Пелешко, І. Ізонін, Ю. Пелех // Зб. матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції [“Інформаційно-комунікаційні технології в сучасному світі: досвід, проблеми, перспективи”], (Київ-Львів, 2012) / ЛДУ БЖД. – Львів, 2012. – С.182-185.
18. Пелешко Д. Використання псевдообертання несиметричної матриці самоподібності для побудови квазістаціонарних ділянок мовного сигналу / Д. Пелешко, Ю. Пелех, М. Рашкевич, М. Пелешко // Матеріали міжнародної наукової конференції [“Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”, (ISDMCI-2014)], (Херсон, 28-31 травня 2014) / ХНТУ. – Херсон, 2014, – С. 320-321.
19. Рашкевич Ю. Маркування мовного сигналу з використанням показника Гельдера / Ю. Рашкевич, Д. Пелешко, Ю. Пелех, І. Ізонін, З. Шиманські // Матеріали міжнародної наукової конференції [“Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”, (ISDMCI-2014)], (Херсон, 28-31 травня 2014) / ХНТУ. – Херсон, 2014, – С. 325-327.
20. Peleshko D. Digital watermarking using Hölder condition and speech signals spectrum / D. Peleshko, Yu. Pelekh, M. Peleshko, V. Voloshyn // Proceedings of the IXth International Scientific and Technical Conference [“Computer Science and Information Technologies” (CSIT 2014)], (Lviv, 18-22 November 2014) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv. Printing Center of Publishing House of Lviv Polytechnic National University, 2014. – P. 70-71.
21. Rashkevych Yu. Speech signal marking on the base of local magnitude and invariant segmentation / Yu. Rashkevych, D. Peleshko, I. Pelekh, I. Izonin // Journal Mathematical Modeling and Computing. – Lviv, 2014. – Vol. 1, No. 2. – P. 234–244.
22. Pelekh Yu. Composite Usage of Local Magnitudes and Invariant Segmentation for

Speech Signals Watermarking / Yu. Pelekh, D. Peleshko, M. Peleshko, I. Malets, O. Bashynskyy // Proceedings of the XIIIth International Conference [“The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics” (CADSM 2015)], (Lviv – Polyana, 24-27 February 2015) / Lviv Polytechnic National University. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2015. – P. 159-163.

АНОТАЦІЯ

Пелех Ю.М. Методи та засоби маркерування мовних сигналів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – *Системи та засоби штучного інтелекту*, Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2015.

Дисертація присвячена вдосконаленню та розробленню стійких до вхідних даних методів маркерування та сегментації цифрових аудіо сигналів. Основна увага спрямовується на методи, які використовують “сліпу” схему декодування водяного знаку з сигналу, тобто такі, що для декодування не потребують оригінальних даних. Недоліком існуючих “сліпих” методів маркерування є їх незахищеність від несанкціонованого доступу та неприхованість від сторонніх осіб чи засобів.

Розроблено метод маркерування аудіо сигналу, який базується на побудові сегментів та пошуку спектральних магнітуд, який є незалежним від характеристик вхідного сигналу і дає можливість маркерувати цифрові сигнали з мінімальними інформаційними втратами.

Розроблено метод вбудовування водяного знаку у аудіо сигнал, який базується на розбитті сигналу за опорними точками та аналізі коефіцієнта гладкості Гельдера, є стійким до операцій передискретизації та зміни часового масштабу аудіо сигналу.

Розроблено метод розбиття аудіо сигналу за опорними точками, побудований на псевдообертанні матриць подібності, забезпечує ефективний поділ сигналу на стаціонарні ділянки в різних областях енергій і не залежить від моделі мовотворення. Цей метод ефективно доповнює існуючі методи сегментації, які базуються на вибраних моделях мовотворення, що дало змогу з більшою точністю проводити сегментацію цифрових сигналів.

Ключові слова: маркерування, аудіо сигнал, водяний знак, спектр, сегментація, коефіцієнт гладкості Гельдера, спектральні магнітуди, псевдообертання матриць подібності.

ABSTRACT

Yu. Pelekh. Methods and means of speech signals watermarking. – Manuscript.

Thesis for a Candidate degree in Technical Science by speciality 05.13.23 – *the systems and means of artificial intelligence*. Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2015.

The thesis is devoted to the development and improvement methods of digital audio signals watermarking and segmentation that will be resistant to input parameters. There are created software implementations for developed methods of audio signals watermarking and segmentation. The paper is mainly focused on methods that use “blind” watermark decoding scheme of the signal that means watermark decoding methods do not need original data to decode watermark from the marked signal. However, the main disadvantage of “blind” watermarking methods is their lack of protection from unauthorized watermark detection in the signal.

The paper contains classification of “blind” and “semi-blind” watermarking methods, its features, benefits and disadvantages. As a result, it is figured out that these methods require further research and improvements in performance, robustness, accuracy of watermark decoding and signal identification.

There are developed two methods of digital audio signals watermarking. One of these methods is based on building segments and searching for spectral magnitudes. This method does not dependent on the input signal characteristics and performs digital signals watermarking with minimal loss of information and high reliability of such types of attacks as noise, cropping, re-sampling, re-quantization, compression and lowpass filtering. The second method of the watermark embedding in the audio signal is based on segmentation and Hölder condition. This method is resistant to signal oversampling and the time scale modifications of the audio signal. The main benefit of this method is high accuracy of watermarked signal identification, which is approximately at 96%.

Further more, there are developed three methods of audio signal segmentation. The aim of signal segmentation is to improve watermark robustness and invisibility from unauthorized access. The developed method of audio signal segmentation that is based on the pseudoinverse matrix of similarity provides an efficient signal division on watermarking segments at different measures of signal energy and does not depend on the signal nature, its original topology and basic coverage. Segmentation of the audio signal based on singular value decomposition of convergence matrix of relative measures can be also used in tasks of parametric signal identification and intellectual analysis. The audio signal segmentation method based on pseudoinverse matrix of energies provides more accurate level of signal segmentation and allows to embed more data (watermark data) into short audio signals.

These segmentation methods can effectively complement other methods of segmentation based on selected signal type, allowing more granular segmentation of the digital signals.

The method of watermarked signal identification through the solution of finding a maximum magnitudes provides independent watermarked signal identification without the original signal and its watermark.

Based on the theoretical and practical results of the research work there was developed the software solution that implements developed methods of digital audio signals segmentation, watermarking and watermarked signals identification. Developed software solution is certified by Microsoft and published in Windows Phone Store for public usage.

Key words: watermarking, audio signal, watermark, spectrum, segmentation, Hölder condition, spectral magnitudes, pseudoinverse matrix.

АННОТАЦИЯ

Пелех Ю.М. Методы и средства маркировки речевого сигнала. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – *Системы и средства искусственного интеллекта*, Национальный университет “Львовська политехника”, Львов, 2015.

Диссертация посвящена совершенствованию и разработке устойчивых к входным данным методов маркировки и сегментации цифровых аудио сигналов. Основное внимание направляется на методы, которые используют “слепую” схему декодирования водяного знака из сигнала, то есть такие, что для декодирования не требуют оригинальных данных.

Недостатком существующих “слепых” методов маркировки является их незащищенность от несанкционированного доступа и не скрытность от посторонних лиц или средств.

Разработан метод маркировки аудио сигнала, который базируется на построении сегментов и поиска спектральных магнитуд, который не зависит от характеристик входного сигнала и позволяет маркировать цифровые сигналы с минимальными информационными потерями.

Разработан метод кодирования водяного знака в аудио сигнал, который базируется на разбиении сигнала за опорными точками и анализе коэффициенте гладкости Гельдера, устойчив к операциям передискретизации и изменения временного масштаба речевого сигнала.

Разработан метод разбиения речевого сигнала за опорными точками построен на псевдовращениях матриц сходства, который обеспечивает эффективное разделение сигнала на стационарные участки в различных областях энергий и не зависит от модели речеобразования. Этот метод может эффективно дополнять другие методы сегментации, которые базируются на некоторых моделях языкотворчества, что позволило с большей точностью проводить сегментацию цифровых сигналов.

Ключевые слова: маркировка, аудио сигнал, водяной знак, спектр, сегментация, коэффициент гладкости Гельдера, спектральные магнитуды, псевдообращение матриц подобия.

Підписано до друку 21.07.2015.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Зам. № 07/21.
Ум. друк. арк. 0,96.
Тираж 120 прим.

ТзОВ “Простір-М”
Свідоцтво ДК № 2167 від 21.04.2005 р.
79000, м. Львів, вул. Чайковського, 8
Тел.: (032) 261-09-05, e-mail: prostir@litech.net