

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**  
ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ  
Кафедра медичної радіофізики

До захисту допущено:

«На правах рукопису»

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Сергій РАДЧЕНКО

« \_ » травня 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**  
на тему:  
**«ПОРІВНЯННЯ ОЗНАК ДЛЯ ТЕКСТУРНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ**  
**УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ»**

**Виконав:**

студент 2-го курсу магістратури  
денної форми навчання  
спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали  
ОНП «Біомедична фізика, інженерія та інформатика»  
Разумовський Матвій Андрійович

\_\_\_\_\_

**Науковий керівник:**

канд. фіз.-мат. н., доцент  
Радченко Сергій Петрович

\_\_\_\_\_

**Рецензент:**

канд. фіз.-мат. н., с.н.с.  
Мамілов Сергій Олександрович

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській роботі  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань  
Студент \_\_\_\_\_

Робота допущена до захисту в ЕК рішенням кафедри медичної радіофізики  
від «\_\_» травня 2023 р., протокол № \_\_.

Завідувач кафедри медичної радіофізики,  
канд. фіз.-мат. наук, доцент  
Радченко Сергій Петрович

\_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра 34 с., 6 таблиць, 4 рис., 17 джерел

У даному дослідженні об'єктом є особливості текстури ультразвукових зображень, на прикладі зображень щитоподібної залози пацієнтів.

Метою роботи є порівняння ознак для текстурної класифікації стану пацієнтів, тобто розбиття на групи здорових осіб та осіб з патологіями за аналізом текстури ультразвукових зображень, та знаходження ознак, які дозволяють виявити патології щитоподібної залози без використання фахівців зі спеціалізованою медичною освітою.

В роботі використано інформацію про групи пацієнтів (ультразвукові зображення щитоподібної залози, діагноз, визначений незалежними методами діагностування) та результати обробки сто двадцяти п'яти ультразвукових досліджень при таких патологіях, як гіпотериоз, хронічний тиреоїдит, дифузний зоб та тиреотоксикоз. Для аналізу використовується програма "ImageJ", а текстурні характеристики визначаються за допомогою матриці співвідношень рівнів сірого.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП .....	5
1. ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ .....	6
1.1 Ультразвукові зображення.....	8
1.2 Текстура ультразвукових інтроскопічних зображень .....	10
2. ТЕКСТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ .....	13
2.1 Визначення та класифікація текстур .....	13
2.2 Аналіз текстур.....	17
3. ПОРІВНЯННЯ ТЕКСТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	25
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	34

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

GLCM – матриця співвідношень рівнів сірого

ASM – кутовий другий момент

IDM - обернена моментальна різниця

## ВСТУП

Загалом, текстура є важливою характеристикою зображень, що визначає сприйняття графічної інформації, відповідно текстурні характеристики відіграють важливу роль у багатьох задачах обробки зображень та комп'ютерного розпізнавання, класифікації графічних даних. Для створення ефективних алгоритмів обробки зображень, візуального аналізу та розпізнавання об'єктів на зображеннях важливо розуміти основні типи текстур та методи їх визначення.

Таким чином, текстурні характеристики є важливим компонентом аналізу зображень та розпізнавання образів. Вони можуть бути використані для класифікації та розпізнавання об'єктів на зображеннях, а також для оцінки якості зображень та матеріалів.

Класифікація текстур за різними ознаками дозволяє отримати докладний опис текстур та їх характеристик, що може бути корисним для визначення властивостей матеріалів та розпізнавання образів на зображеннях.

Оцінка текстурних характеристик може бути використана для вирішення багатьох завдань, таких як виявлення об'єктів на зображеннях, розпізнавання образів та класифікація зображень. Вона є важливою складовою комп'ютерного зору та аналізу зображень.

Отже, знання про текстурні характеристики та їх оцінку можуть бути корисними в різних галузях, таких як матеріалознавство, медична діагностика, комп'ютерний зір та інші сфери, де важливо аналізувати зображення та визначати характеристики об'єктів на них.

## 1. ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Зображення - це образ об'єкта або сцени, який отримується завдяки фізичним законам (наприклад, оптичному зображенню). Воно містить інформацію про просторову структуру, таку як геометричне положення, форму, деталі, чіткість, орієнтацію та розміри. Хоча термін "зображення" може мати кілька різних визначень [1, 2], найбільш загальним є визначення як геометричного простору, де кожна точка має своє значення.

Всі методи отримання зображення можна розбити на контактні та безконтактні. Контактні методи створюють зображення за допомогою механічного тиску на систему датчиків або, навпаки, за допомогою тиску датчиків на об'єкт. Безконтактні методи формують зображення на основі реєстрації випромінювання. Існують також проміжні методи, які формують зображення. Наприклад, контактним методом (за допомогою тиску на рідкокристалічну панель) формується первинне зображення, а потім за допомогою безконтактного методу (фотографування панелі) створюється цифрове зображення для аналізу.

Зображення в обчислювальних пристроях можуть бути векторними або растровими [1, 2]. Векторне зображення формується на основі процесу малювання, інваріантно до масштабування, обертання та інших проєктивних перетворень. Його опис складається з інструкцій для малювання та графічних примітивів. Такий тип зображення зручно використовувати, якщо на ньому присутні прості об'єкти та їх небагато. При збільшенні кількості об'єктів розміри такого зображення значно збільшуються, тому для відображення об'єктів фотографічного типу використовується растрове зображення.

Елементарною одиницею растрових зображень є піксель. Якщо растрове зображення розглядати як матрицю, то піксель відповідатиме елементу матриці. Растрові зображення поділяються на бінарні, півтонові, кольорові та мультиспектральні. Бінарні зображення мають два рівні яскравості, де один

відповідає фону, а інший - об'єкту на зображенні. До окремого типу відносять мультифазне зображення, яке є поєднанням кількох бінарних зображень в індексованому представленні [3]. При цьому об'єкти кожного бінарного зображення відображаються окремим півтоновим рівнем або кольором. Мультифазне зображення отримують в результаті процедури ідентифікації бінарних об'єктів, тобто кожен об'єкт або група об'єктів мають свою індивідуальний ознаку (для мультифазного зображення - це колір). Воно успадковує всі властивості бінарного зображення, де нульовий рівень кольору відповідає фону, а всі інші рівні - об'єкту. Звичайно, для такого зображення виконується бінарна обробка. Мета використання мультифазного зображення - виділення, збереження та класифікація об'єктів прямо на зображенні.

## 1.1 Ультразвукові зображення

Звук - це пружна хвиля, яка випромінюється та поширюється у вигляді компресійних та декомпресійних збурень середовища. Ультразвук - це звук з високою частотою, який не чути людським вухом, оскільки його частота перевищує поріг 20 кГц. Ультразвукові хвилі використовуються в медицині для отримання образів внутрішніх органів та тканин людини за допомогою ультразвукової діагностики.

Ультразвукова діагностика - це невід'ємна частина сучасної медицини, яка дозволяє отримувати зображення внутрішніх органів та тканин людини з використанням ультразвукових хвиль. Для проведення ультразвукового дослідження медик використовує спеціальний апарат, який генерує ультразвукові хвилі та приймає їх відбиття від внутрішніх органів та тканин. Після цього інформація обробляється комп'ютером та перетворюється в зображення, яке лікар може дослідити та проаналізувати.

Ультразвукові зображення можуть допомогти в діагностиці багатьох захворювань, зокрема серцево-судинних, гінекологічних, неврологічних, онкологічних та інших захворювань. Крім того, вони можуть бути використані для контролю за станом плода під час вагітності. Ультразвукові зображення є безпечними та неінвазивними, оскільки не використовують іонізуючого випромінювання, що є важливим фактором уникнення впливу на здоров'я пацієнта.

Однак, ультразвукові зображення мають свої обмеження. Наприклад, вони не завжди можуть точно відобразити місцеположення вузлів та пухлин, що може призвести до помилкових діагнозів. Крім того, ультразвукові зображення не завжди можуть бути отримані в усіх випадках, зокрема при ожирінні або злитті тканин, які знаходяться далеко від поверхні шкіри.

Незважаючи на ці обмеження, ультразвукова діагностика залишається однією з найбільш ефективних та безпечних методів дослідження внутрішніх органів та тканин людини. Це пов'язано з тим, що вона не вимагає використання іонізуючих випромінювань та не супроводжується ризиком виникнення радіаційної хвороби.

Ультразвукові зображення мають дуже велику кількість застосувань в медицині та інших сферах, таких як наука та промисловість. Вони дозволяють проводити дослідження в області акустичної техніки, а також застосовуватися для контролю якості матеріалів та обладнання. Ультразвукові зображення є важливим інструментом, який дозволяє отримувати важливу інформацію про стан різних об'єктів та процесів.

Отже, ультразвукові зображення є важливим інструментом діагностики в медицині, а також мають велику кількість застосувань в науці та промисловості. Їх використання є безпечним та неінвазивним методом, який дозволяє отримувати важливу інформацію про внутрішні органи та тканини людини.

## 1.2 Текстура ультразвукових інтроскопічних зображень

Текстура ультразвукових інтроскопічних зображень відображає мікроструктуру тканин, що досліджуються за допомогою ультразвукової технології. Ультразвукова інтроскопія є методом візуалізації внутрішніх органів і тканин шляхом застосування ультразвукових хвиль з високою частотою.

Текстура ультразвукових зображень може містити різні візуальні ознаки, які виникають в результаті взаємодії ультразвуку з тканиною. Деякі з найбільш поширених ознак текстури в ультразвукових інтроскопічних зображеннях включають:

Ехогенність - це характеристика, що відображає різницю у здатності тканини відбивати ультразвукові хвилі. Тканини з високою ехогенністю відображаються яскравими, тоді як тканини з низькою ехогенністю - темними. Ехогенність може бути показником різних патологічних процесів в тканинах.

Структура - текстура ультразвукових зображень може мати різні типи структури, такі як однорідна, зерниста, шарувата, сотова та інші. Ці структурні ознаки можуть вказувати на особливості тканини або патологічні зміни.

Ехографічна текстура - це аналіз градієнтів яскравості ультразвукових пікселів на зображенні. Візуально це може виявлятися як шаруватість, локальні зміни яскравості та різні шаблони.

Спекл-текстура в ультразвукових зображеннях є особливою типовою структурою, яка виникає внаслідок утворення спеклів, що виникають при інтерференції ультразвукових хвиль, розсіяних різними структурами тканин або органів[14, 15]. Ця текстура проявляється у вигляді малих розмитих плямок або зернистості, що розподілені по всьому зображенню, надаючи йому гранульований вигляд.

Спекл-текстура може ускладнювати інтерпретацію та аналіз ультразвукових зображень. Вона може заважати сприйняттю деталей та знижувати контрастність зображення через спекл-шум[16]. Однак, спекл-текстура також містить корисну інформацію про структурні особливості тканин та органів.

В деяких випадках спекл-текстура відображає характеристики тканин, такі як щільність, структура та однорідність. Її аналіз може допомогти виявити аномалії, патологічні зміни та вузли в тканинах, що сприяє постановці діагнозу та прийняттю рішень щодо лікування. Завдяки корисній інформації, яку носить спекл-текстура, її використовують у дослідженнях та розробках нових алгоритмів обробки зображень та комп'ютерної підтримки діагностики. Метою таких підходів є витягнення корисної інформації зі спекл-текстури, поліпшення якості зображень, зменшення шуму та підвищення роздільної здатності.

Отже, спекл-текстура, несучи як певні виклики, так і можливості, може бути використана для діагностики та обробки ультразвукових зображень, надаючи цінну інформацію про тканини та органи.

Для аналізу текстури ультразвукових інтроскопічних зображень використовуються різні методи, включаючи статистичний аналіз, аналіз текстурних ознак, морфологічний аналіз, частотний аналіз та методи машинного навчання. Комбінація цих методів дозволяє отримати більш повне та об'єктивне розуміння текстурних характеристик ультразвукових зображень.

Аналіз текстури ультразвукових інтроскопічних зображень має різноманітні застосування в медицині. Наприклад, в радіології він може бути використаний для виявлення та класифікації пухлин, визначення їх ступеня злоякісності та моніторингу їх змін під час лікування. Текsturний аналіз також

може бути корисним при оцінці характеристик кровообігу, виявленні запальних процесів та оцінці стану тканин після травми або хірургічних втручань.

Додатково, текстурний аналіз ультразвукових зображень може бути використаний у дослідницьких дослідженнях для вивчення зв'язків між текстурними характеристиками тканин та клінічними або патологічними станами. Це дозволяє розширити наше розуміння механізмів захворювань та розвивати нові методи діагностики та лікування.

Отже, аналіз текстури ультразвукових інтроскопічних зображень є потужним інструментом у медичній діагностиці та дослідженнях. Він допомагає отримати більш детальну та об'єктивну інформацію про тканини, забезпечуючи підтримку у прийнятті клінічних рішень та поліпшенні результатів лікування.

## 2. ТЕКСТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 2.1 Визначення та класифікація текстур

Текстура - це характеристика зображення, яка відображає повторюваність та розташування геометричних елементів в зображенні. З іншого боку, текстура може бути визначена як мало-або дуже-повторюваний візуальний елемент у зображенні[4, 5, 6]. Текстурні характеристики можуть бути використані для опису, класифікації та аналізу зображень.

Одним з перших визначень текстур давно використовувалося в графічному дизайні та мистецтві. Ідея полягала в тому, щоб намалювати різні текстури, використовуючи різні кольори та форми. Згодом цей підхід був перенесений в область комп'ютерного зору та обробки зображень.

Існує кілька способів класифікації текстур. Одна з найпоширеніших класифікацій полягає у розмежуванні текстур на основі характеристик повторюваності та регулярності елементів у зображенні. За цим критерієм текстури можуть бути поділені на декілька типів: регулярні, напіврегулярні та нерегулярні[10].

- Регулярні текстури мають симетричні та повторювані елементи, які впорядковані в певну геометричну структуру. Прикладом можуть бути рядки або сітки.
- Напіврегулярні текстури мають частково повторювані елементи, які не впорядковані у строгої геометричній структурі. Прикладом можуть бути дерев'яний підлога або структура кори дерева.
- Нерегулярні текстури не мають повторюваних елементів та можуть бути нерегулярними в будь-якому сенсі. Такі текстури зазвичай мають випадковий, неструктурований вигляд. Прикладами можуть бути каміння, трава, хмари тощо.

Іншим способом класифікації текстур є поділ на основі властивостей текстурних елементів. За цим критерієм текстури можуть бути класифіковані на шести основних типів: точкові, лінійні, поверхневі, об'ємні, недетерміновані та структуровані[9].

- Точкові текстури представлені окремими точками, які можуть мати різний колір та яскравість. Прикладами можуть бути зорі на зображенні неба або сніжинки в зимовому пейзажі.
- Лінійні текстури складаються з лінійних елементів, які можуть бути прямими, кривими, переривчастими або сплеченими. Прикладами можуть бути дорожки, зачаровані густини або плетені килими.
- Поверхневі текстури складаються з великої кількості малих елементів, які знаходяться на поверхні зображення. Прикладами можуть бути шкіра, листя дерев, або бруківка.
- Об'ємні текстури складаються з тривимірних об'єктів, які можуть бути просторовими, як кубики або кулі, або ж представлені тінню або текстурою. Прикладами можуть бути стіни будівель або об'єкти ігрових середовищ.
- Недетерміновані текстури не мають повторюваного патерну, які можуть бути добре відомі, і можуть бути дуже різними за своєю формою та структурою. Прикладами можуть бути вода або хмари.
- Структуровані текстури складаються з геометрично впорядкованих елементів, які можуть бути розміщені в певних правилах та взаємозв'язках. Прикладами можуть бути різні типи мозаїк або гобелени.

Текстури можна класифікувати за різними ознаками, такими як структура, форма, розмір, густина і колір. Розглянемо деякі з найбільш популярних методів класифікації текстур:

- За структурою, використовуючи такі ознаки, як симетрія, гладкість, шаблонність, хаотичність та інші. Наприклад, кам'яна поверхня має характерну нерівність і грубу структуру, тоді як деревина має більш м'яку і приємну на дотик структуру.
- За формою, використовуючи такі ознаки, як кругла, квадратна, прямокутна, овальна та інші форми.
- За розміром, використовуючи такі ознаки, як малий, середній і великий розмір. Це може бути корисним, наприклад, при класифікації текстур на зображеннях високої роздільної здатності.
- За густотою, використовуючи такі ознаки, як густий, рідкий або щільний.
- За кольором, використовуючи такі ознаки, як яскравий, темний, світлий, барвистий та інші.
- За орієнтацією, використовуючи такі ознаки, як горизонтальна, вертикальна, діагональна, кругова та інші.
- За ступенем структурованості, використовуючи такі ознаки, як регулярна або нерегулярна структура. Наприклад, узор на тканинах можуть бути досить регулярними, тоді як текстури, пов'язані з природними формами, можуть бути нерегулярними.
- За частотою, використовуючи такі ознаки, як високочастотні та низькочастотні текстури. Високочастотні текстури містять більше деталей та маленьких елементів, тоді як низькочастотні текстури мають більшу геометричну структуру і менше деталей.

- За характером змінності, використовуючи такі ознаки, як статичні та динамічні текстури. Статичні текстури не містять рухливих елементів, тоді як динамічні текстури містять рухливі елементи, наприклад, хвилі на воді або листя на дереві.
- За типом застосування, використовуючи такі ознаки, як декоративні, функціональні та інші. Декоративні текстури, такі як узор на тканинах або обкладинки книжок, призначені для естетичної привабливості. Функціональні текстури, такі як зернистість паперу або шорсткість шліфованого дерева, мають практичне застосування.

Ці методи класифікації текстур можуть бути використані в різних галузях, таких як комп'ютерний зір, обробка зображень, графіка, текстильна промисловість та інші. Класифікація текстур є важливим етапом у багатьох завданнях, таких як розпізнавання образів, аналіз медичних зображень, розпізнавання облич, зображення земної поверхні та інших.

Крім того, текстурні характеристики можуть бути використані для створення нових текстур за допомогою генеративних моделей. Це може бути корисним у галузі комп'ютерної графіки та дизайну, де можна створити нові унікальні текстури для використання у візуалізації або інших проектах.

У більш загальному контексті, текстурні характеристики є важливим елементом у багатьох дисциплінах, таких як математика, фізика, біологія, хімія та інші. Вони можуть бути використані для опису структури та властивостей різних матеріалів та матеріальних систем, таких як кристали, поверхні, тканини, турбулентні потоки та інші.

## 2.2 Аналіз текстур

Методи аналізу текстур - це математичні та статистичні методи, що використовуються для отримання характеристик текстур зображень. Ці методи дозволяють описувати та порівнювати текстури, а також застосовувати їх для розпізнавання об'єктів та контролю якості зображень. Деякі з основних методів аналізу текстур включають:

- Статистичний аналіз: цей метод використовує статистичні параметри для опису текстур на зображенні. Ці параметри можуть включати середнє значення, дисперсію, кореляцію та інші міри центральної та розподільної статистики.
- Метод перетинних матриць: цей метод використовує матриці залежності, які описують взаємозв'язки між пікселями на зображенні. Ці матриці дозволяють отримати інформацію про орієнтацію та форму текстурних структур.
- Коефіцієнти текстур: цей метод використовується для опису текстур через координати та амплітуду вейвлет-функцій. Вейвлет-функції використовуються для розбиття зображення на невеликі частини з різною частотою.
- Інші методи аналізу текстур: до інших методів можуть відноситися фрактальний аналіз, сегментація зображень та машинне навчання.

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки та може бути застосований для різних завдань аналізу текстур. Для досягнення кращих результатів зазвичай використовують комбінацію декількох методів.

Матриця співвідношень рівнів сірого (GLCM - Grey-Level Co-occurrence Matrix) є одним із методів аналізу текстури зображення, який знаходить широке застосування в області обробки зображень та комп'ютерного зору.

GLCM - це квадратна матриця, що відображає те, як часто пікселі з певними значеннями яскравості знаходяться поруч один з одним на зображенні[11, 12]. Вона може бути використана для видобутку різних текстурних характеристик зображення, таких як контраст, кореляція, однорідність, енергія та інші.

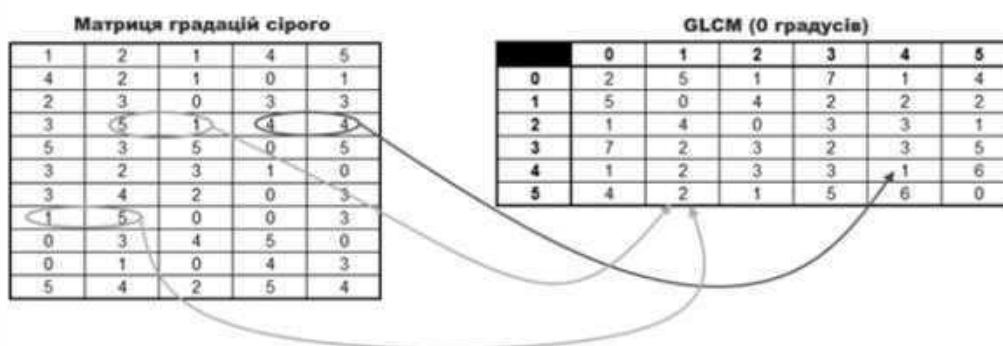


Рис. 1. Формування матриці GLCM з азимутом  $0^\circ$

Матриця GLCM складається з елементів, кожен з яких відповідає певній парі значень яскравості пікселів. Значення елемента  $(i,j)$  матриці GLCM відображає кількість разів, коли піксел зі значенням яскравості  $i$  знаходиться поруч із пікселем зі значенням яскравості  $j$ .

Матриця GLCM зазвичай обчислюється для різних значень зсуву  $(dx, dy)$  та змінюючогося числа рівнів яскравості  $N$ . Для кожної комбінації  $(dx, dy)$  та  $N$  буде створена своя матриця GLCM.

Текстурні характеристики зображення можуть бути отримані з матриці GLCM, використовуючи різні методи обчислення статистичних властивостей матриці. Наприклад, контраст може бути обчислений як сума різниць квадратів елементів матриці GLCM, а енергія - як сума квадратів елементів матриці GLCM.

Кореляція та однорідність також можуть бути обчислені з використанням матриці GLCM.

Матриця GLCM може бути корисна для класифікації зображень, розпізнавання образів, аналізу текстур та інших застосувань в області обробки зображень та комп'ютерного зору. Наприклад, в медичній діагностиці GLCM може бути використана для виявлення змін у тканинах, таких як рак, шляхом аналізу текстур на медичних зображеннях[13].

Загальна ідея застосування матриці GLCM полягає в тому, що певні текстурні характеристики можуть бути ефективно видобуті з взаємовідношень між пікселями на зображенні, а не з окремих пікселів окремо. Це дозволяє отримувати більш об'єктивні результати, оскільки вони відображають зв'язки між пікселями на зображенні.

Узагальнюючи, матриця співвідношень рівнів сірого (GLCM) є корисним інструментом для аналізу текстурних характеристик зображення, зокрема контрасту, кореляції, однорідності, енергії та інших. Застосування матриці GLCM знайшло широке застосування в різних областях, таких як медична діагностика, розпізнавання образів та аналіз зображень.

Кутовий другий момент (Angular Second Moment, ASM) - це один з параметрів текстурної характеристики, який може бути визначений з матриці співвідношень рівнів сірого (GLCM) зображення. ASM відображає ступінь однорідності розподілу рівнів сірого на зображенні, тобто він вказує на те, наскільки часто однакові значення сірого кольору зустрічаються на зображенні.

ASM розраховується за наступною формулою:

$$ASM = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j}^2$$

де  $P(i,j)$  - елемент матриці GLCM, що відповідає  $i$ -му та  $j$ -му значенням сірого на зображенні.

Значення ASM знаходиться в діапазоні від 0 до 1, де 0 відповідає абсолютній нерівномірності розподілу рівнів сірого, а 1 відповідає абсолютній однорідності розподілу, вказує на ступінь однорідності розподілу рівнів сірого на зображенні

Контраст - це текстурна характеристика зображення, яка описує різницю між яскравістю сусідніх пікселів на зображенні. Контраст може бути визначений на основі матриці коваріації градієнтів GLCM, яка показує, наскільки часто пари пікселів з певними значеннями яскравості знаходяться поруч один з одним на зображенні. Значення контрасту високе, якщо значення яскравості сусідніх пікселів сильно відрізняються одне від одного, і низьке, якщо вони близькі одне до одного.

Математично контраст може бути визначений наступним чином:

$$\text{Контраст} = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i - j)^2$$

Значення контрасту лежить в діапазоні від 0 до  $(N-1)^2$ , де  $N$  - кількість рівнів яскравості в зображенні. Великі значення контрасту вказують на більш виразні відмінності між значеннями яскравості сусідніх пікселів на зображенні, а менші значення контрасту вказують на більш однорідну текстуру.

Кореляція - це текстурна характеристика зображення, яка описує ступінь лінійної залежності між значеннями яскравості пікселів на зображенні, яка показує, наскільки часто пари пікселів з певними значеннями яскравості знаходяться поруч один з одним на зображенні. Значення кореляції близьке до 1,

якщо пікселі з близькими значеннями яскравості зазвичай знаходяться поруч один з одним, і близьке до -1, якщо пікселі з різними значеннями яскравості зазвичай знаходяться поруч один з одним. Якщо значення яскравості не мають лінійної залежності, значення кореляції буде близьке до нуля.

Математично кореляція може бути визначена наступним чином:

$$\text{Кореляція} = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} \left[ (i - \mu_i)(i - \mu_j) / \sqrt{(\sigma_i^2)(\sigma_j^2)} \right]$$

де  $\mu_i, \mu_j$  - середні значення яскравості;

$\sigma_i, \sigma_j$  - стандартні відхилення яскравості

$$\mu_i = \sum_{i,j=0}^{N-1} i(P_{i,j}); \mu_j = \sum_{i,j=0}^{N-1} j(P_{i,j});$$

$$\sigma_i^2 = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i - \mu)^2; \sigma_j^2 = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (j - \mu)^2$$

Обернена моментальна різниця (IDM) - це статистична міра текстур, яка використовується для опису однорідності текстур на зображенні. IDM описує, наскільки близько розподіл пар пікселів до діагональної лінії матриці GLCM. IDM визначається як сума елементів матриці GLCM, поділена на одиницю плюс квадрат різниці індексів пари пікселів, які знаходяться в цій комірці матриці GLCM. Більш формально.

IDM можна виразити наступним чином:

$$\text{IDM} = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} / (1 + (i - j)^2)$$

IDM показує, наскільки близькі значення яскравості пари пікселів, які знаходяться в певній комірці матриці GLCM, один до одного. Конкретніше, високі значення IDM є характерними для текстур, в яких значення яскравості пікселів близькі одне до одного, що вказує на наявність більш однорідної

текстури. Низькі значення IDM, з іншого боку, характерні для текстур з більш різноманітними значеннями яскравості пікселів.

Ентропія - це статистична міра текстур, яка використовується для опису різноманітності або невизначеності яскравості в зображенні. Вона показує, наскільки рівномірно розподілені значення яскравості в зображенні. Ентропія обчислюється шляхом сумування елементів матриці GLCM, помножених на логарифм за основою 2 від відповідних елементів.

Більш формально, ентропію можна виразити наступним чином:

$$\text{Ентропія} = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (-\ln P_{i,j})$$

Високі значення ентропії вказують на більш різноманітний розподіл яскравості в зображенні, що свідчить про більш складну та різноманітну текстуру. Низькі значення ентропії, з іншого боку, вказують на більш рівномірний розподіл яскравості в зображенні, що свідчить про більш однорідну текстуру.

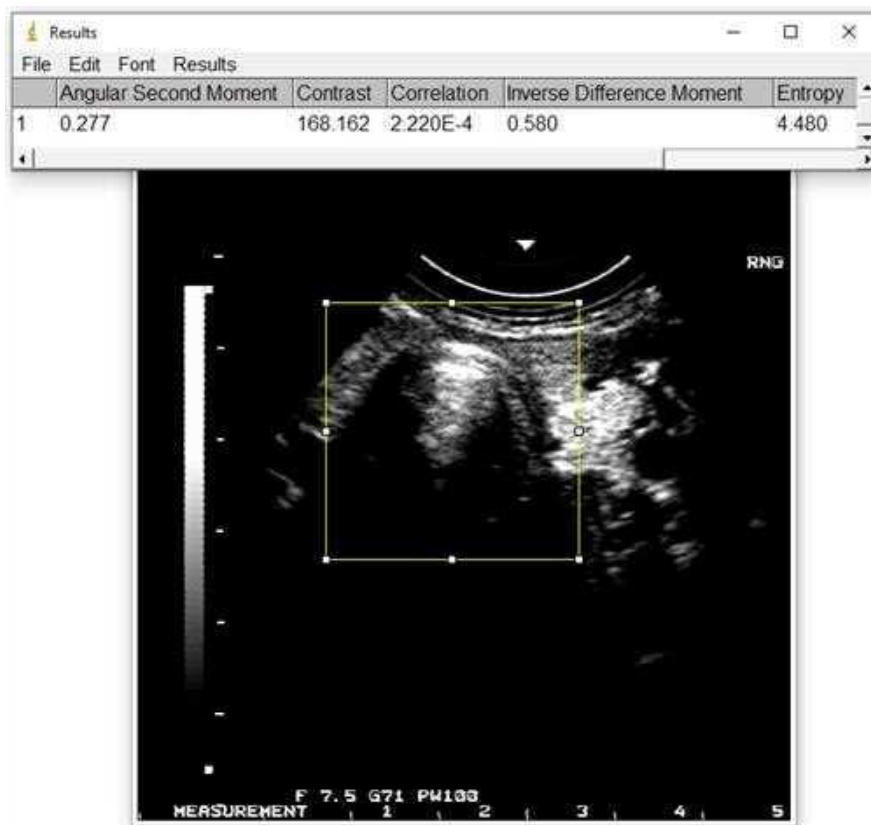


Рис. 2. Обчислення текстурних параметрів (здорова людина)

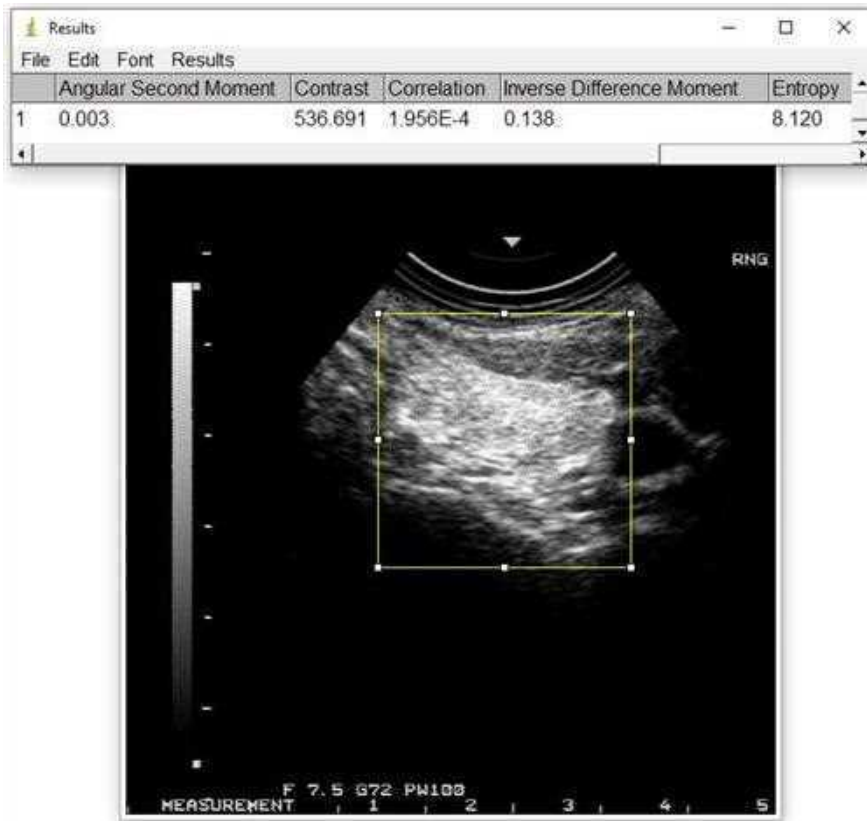


Рис. 3. Обчислення текстурних параметрів (хронічний тиреоїдит)

На (рис. 2 та 3 ) показані приклади використання алгоритмів обчислення текстурних параметрів на різних зображеннях, отриманих за допомогою ультразвукової техніки.

### 3. ПОРІВНЯННЯ ТЕКСТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для оцінки значень текстурних параметрів УЗ зображень використовували інформацію про групи пацієнтів (ультразвукові зображення щитоподібної залози, діагноз, визначений незалежними методами діагностування)

У програмі 'ImageJ' за допомогою матриці співвідношень рівнів сірого порівнюємо ознаки та спробуємо текстурно класифікувати ультразвукові зображення щитовидної залози з різними патологіями.



Рис. 4. Приклад ультразвукового зображення (робоча зона 200x200 пікселів)

Таблиця 1. Текsturні характеристики щитоподібної залози у людей без патологій

№	Кутовий другий момент	Контраст	Кореляція ( $10^{-4}$ )	Обернена моментальна різниця	Ентропія
1	0,059	279,466	1,467	0,341	6,678
2	0,032	339,012	1,608	0,271	7,228
3	0,077	243,075	1,508	0,373	6,371
4	0,158	224,635	1,742	0,467	5,534
5	0,109	277,466	1,489	0,405	6,145
6	0,038	306,204	1,542	0,287	7,088
7	0,066	287,855	1,476	0,347	6,643
8	0,040	273,417	1,747	0,286	7,057
9	0,085	312,799	1,861	0,361	6,457
10	0,103	262,221	1,976	0,386	6,172
11	0,089	224,862	3,823	0,370	6,049
12	0,013	330,503	3,672	0,202	7,373
13	0,033	269,551	3,7	0,266	6,903
14	0,070	202,867	4,746	0,345	6,187
15	0,038	262,620	3,446	0,280	6,797
16	0,061	228,152	4,134	0,328	6,408
17	0,004	692,847	1,969	0,123	9,239
18	0,058	394,346	2,343	0,301	7,670
19	0,009	336,800	2,911	0,117	7,755
20	0,007	437,730	2,954	0,162	7,797
21	0,020	393,405	2,538	0,219	7,439
22	0,013	408,224	2,685	0,192	8,293
23	0,001	634,115	2,570	0,097	9,251
24	0,009	424,418	2,809	0,172	8,153
25	0,039	317,421	1,275	0,310	6,986
$\mu$	0,049	334,560	2,479	0,280	7,106

Таблиця 2. Текsturні характеристики щитоподібної залози у людей з гіпотериозом

№	Кутовий другий момент	Контраст	Кореляція (10 <sup>-4</sup> )	Обернена моментальна різниця	Ентропія
1	0,089	212,657	1,960	0,386	6,198
2	0,017	327,436	3,125	0,220	7,306
3	0,043	288,606	3,412	0,286	6,793
4	0,002	355,979	2,844	0,138	7,694
5	0,025	295,591	3,260	0,246	7,097
6	0,025	338,345	2,878	0,240	7,212
7	0,034	325,933	3,426	0,247	7,904
8	0,124	262,177	2,643	0,422	5,771
9	0,007	311,785	3,703	0,177	7,544
10	0,064	338,336	2,431	0,321	7,270
11	0,009	374,679	3,366	0,176	7,598
12	0,002	433,562	2,831	0,132	8,010
13	0,021	258,912	4,160	0,236	7,060
14	0,089	235,281	3,315	0,373	6,121
15	0,088	223,972	1,755	0,387	6,190
16	0,006	322,444	3,4	0,171	7,609
17	0,003	335,824	3,878	0,141	7,753
18	0,003	580,937	3,279	0,080	8,298
19	0,004	308,014	4,067	0,159	7,6
20	0,004	339,584	3,879	0,149	7,721
21	0,005	474,296	3,006	0,138	8,962
22	0,004	434,559	2,234	0,151	7,903
23	0,006	384,948	3,992	0,107	8,036
24	0,072	300,698	2,625	0,342	6,445
25	0,006	417,991	3,870	0,102	8,036
μ	0,030	339,301	3,173	0,221	7,365

Таблиця 3. Текстульні характеристики щитоподібної залози у людей з хронічним тиреоїдитом

№	Кутовий другий момент	Контраст	Кореляція (10 <sup>-4</sup> )	Обернена моментальна різниця	Ентропія
1	0,002	540,474	2,011	0,128	8,180
2	0,011	429,862	2,557	0,189	7,678
3	0,006	442,342	2,530	0,159	7,874
4	0,004	581,493	2,186	0,103	8,298
5	0,004	491,860	2,855	0,097	8,184
6	0,022	401,332	2,451	0,226	7,454
7	0,008	633,384	1,892	0,110	8,235
8	0,011	400,336	2,747	0,192	7,595
9	0,005	467,384	2,884	0,102	8,759
10	0,010	321,017	4,005	0,183	7,468
11	0,026	302,434	3,655	0,242	7,090
12	0,006	489,018	2,279	0,157	7,938
13	0,009	407,253	2,666	0,127	7,984
14	0,014	437,529	2,479	0,191	7,642
15	0,002	626,474	1,707	0,134	8,157
16	0,002	563,397	1,707	0,141	8,086
17	0,007	533,084	1,726	0,164	7,948
18	0,029	374,060	2,262	0,247	7,260
19	0,011	386,928	2,424	0,194	7,646
20	0,005	446,218	2,141	0,160	7,939
21	0,005	345,295	3,404	0,159	7,714
22	0,001	392,512	2	0,131	7,834
23	0,002	397,687	2,920	0,129	7,974
24	0,014	325,120	3,024	0,204	7,417
25	0,009	436,618	2,271	0,176	7,803
μ	0,009	446,924	2,511	0,161	7,846

Таблиця 4. Текsturні характеристики щитоподібної залози у людей з дифузним зобом

№	Кутовий другий момент	Контраст	Кореляція (10 <sup>-4</sup> )	Обернена моментальна різниця	Ентропія
1	0,005	430,196	2,824	0,153	7,869
2	0,007	435,714	2,794	0,158	8,780
3	0,001	711,625	2,214	0,067	9,558
4	0,003	633,294	2,498	0,110	9,309
5	0,006	567,940	2,567	0,136	9,075
6	0,014	630,206	2,071	0,174	8,841
7	0,009	415,411	2,339	0,186	7,688
8	0,023	415,158	2,617	0,222	8,305
9	0,003	590,255	2,205	0,124	8,178
10	0,012	433,450	2,530	0,192	7,678
11	0,001	577,819	2,245	0,078	9,5
12	0,034	339,929	2,745	0,262	7,075
13	0,005	504,004	2,1	0,113	8,192
14	0,015	220,842	4,894	0,223	7,003
15	0,019	424,704	2,240	0,218	7,492
16	0,007	348,766	3,331	1,169	7,646
17	0,039	368,758	2,460	0,269	7,060
18	0,003	434,538	2,527	0,147	7,961
19	0,005	475,006	2,354	0,104	8,195
20	0,001	315,555	3,037	0,136	7,729
21	0,008	441,698	2,207	0,118	8,086
22	0,032	259,328	3,618	0,264	6,913
23	0,005	409,707	2,746	0,154	7,858
24	0,001	444,726	2,777	0,122	8,063
25	0,026	500,707	2,140	0,224	8,320
μ	0,011	453,143	2,643	0,204	8,094

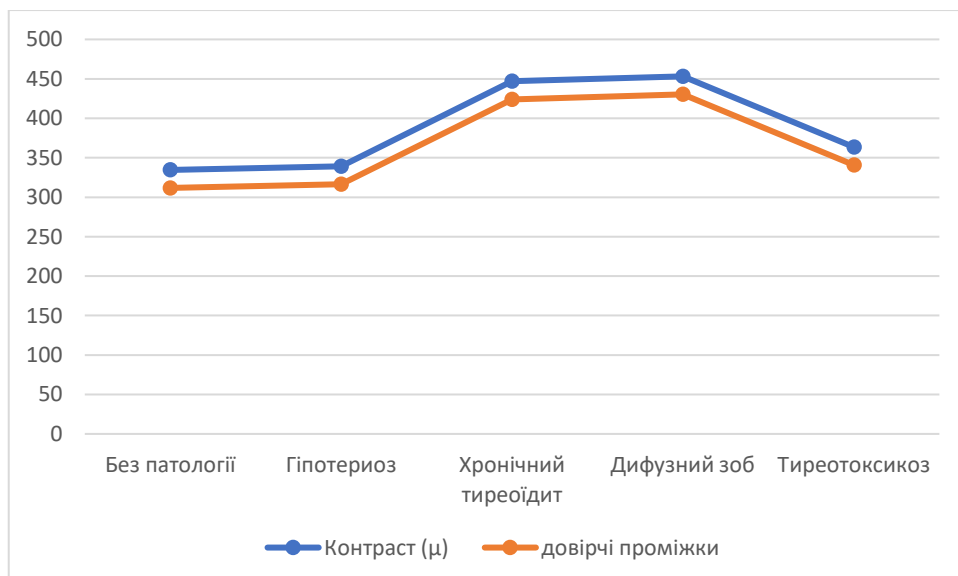
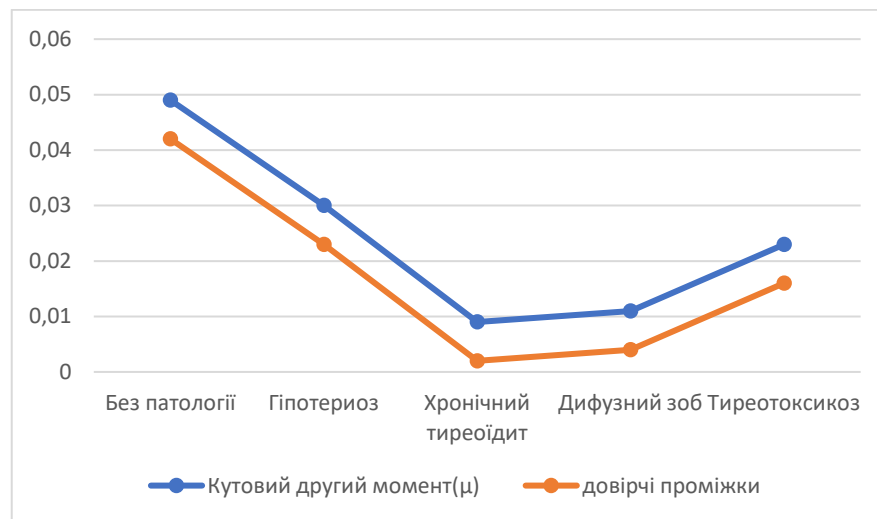
Таблиця 5. Текстульні характеристики щитоподібної залози у людей з тиреостикозом

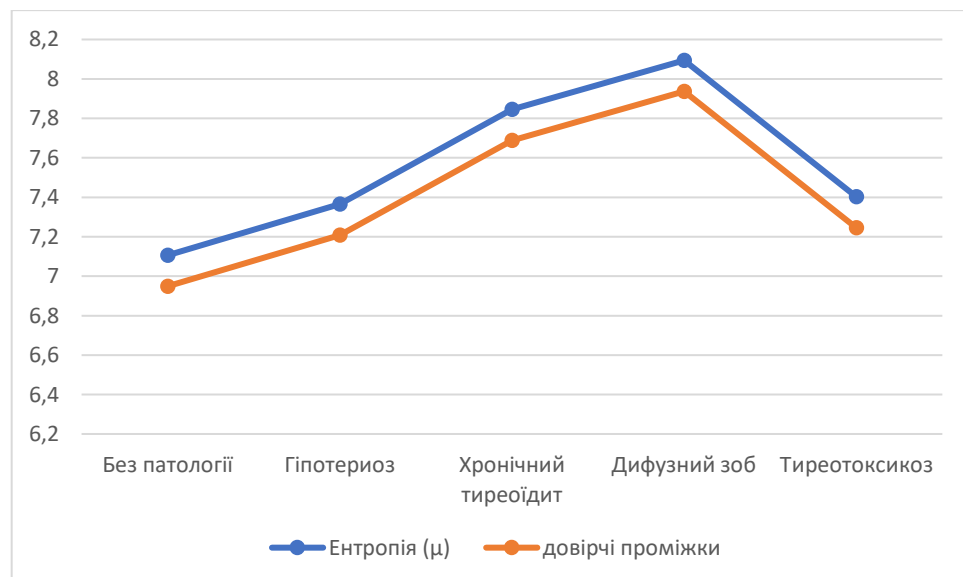
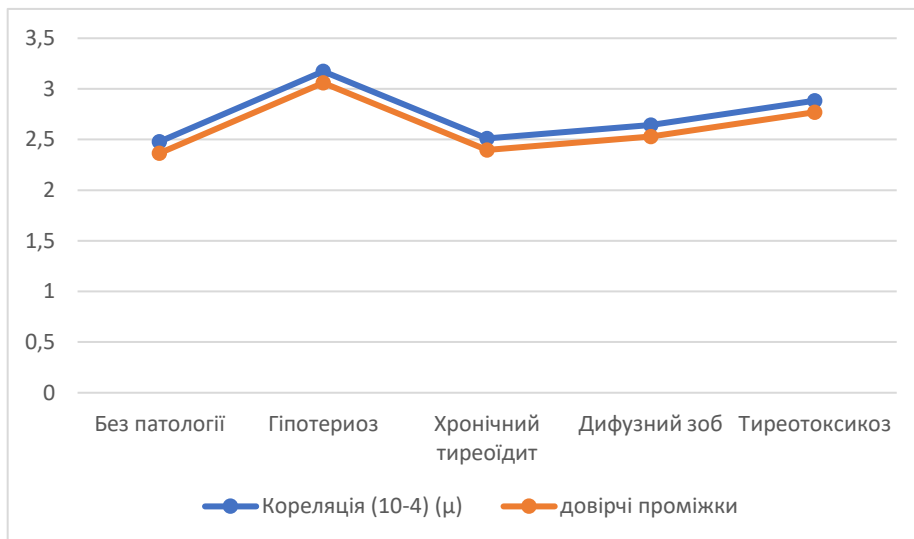
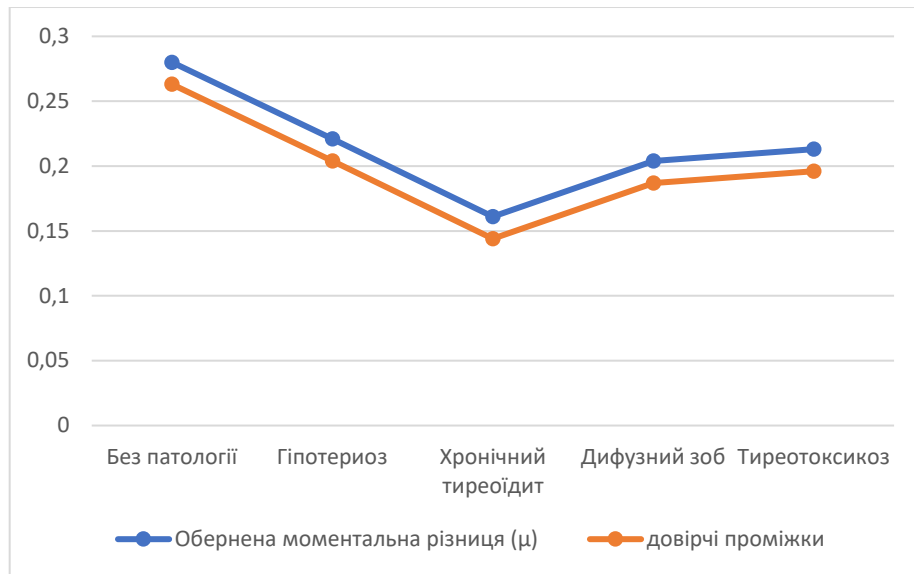
№	Кутовий другий момент	Контраст	Кореляція (10 <sup>-4</sup> )	Обернена моментальна різниця	Ентропія
1	0,054	331,576	1,349	0,337	6,771
2	0,085	271,428	1,575	0,371	6,414
3	0,099	187,839	5,088	0,389	5,816
4	0,017	305,136	3,061	0,225	7,286
5	0,021	296,803	3,533	0,230	7,176
6	0,005	353,954	3,406	0,166	7,667
7	0,026	397,930	2,350	0,239	7,326
8	0,018	424,101	2,427	0,213	7,478
9	0,039	377,413	2,413	0,268	7,063
10	0,006	389,660	2,510	0,171	7,762
11	0,035	341,120	2,708	0,262	7,056
12	0,004	512,914	1,944	0,146	8,061
13	0,027	321,145	2,783	0,245	7,171
14	0,008	284,879	4,018	0,133	7,745
15	0,020	363,407	1,448	0,249	7,424
16	0,067	280,251	1,4	0,342	6,658
17	0,020	249,387	5,052	0,229	7,004
18	0,002	296,428	4,156	0,144	7,696
19	0,008	394,555	3,823	0,114	7,984
20	0,004	442,758	4,102	0,093	8,078
21	0,008	457,977	2,354	0,167	7,841
22	0,001	501,936	2,756	0,120	8,115
23	0,006	431,816	2,708	0,159	7,824
24	0,001	454,384	2,417	0,117	8,115
25	0,015	422,175	2,706	0,199	7,553
μ	0,023	363,638	2,883	0,213	7,403

Таблиця 6. Порівняння текстурних характеристик

Патологія	Кутовий другий момент( $\mu$ )	Контраст ( $\mu$ )	Кореляція ( $10^{-4}$ ) ( $\mu$ )	Обернена моментальна різниця ( $\mu$ )	Ентропія ( $\mu$ )
Без патології	0,049	334,560	2,479	0,280	7,106
Гіпотериоз	0,030	339,301	3,173	0,221	7,365
Хронічний тиреоїдит	0,009	446,924	2,511	0,161	7,846
Дифузний зоб	0,011	453,143	2,643	0,204	8,094
Тиреотоксикоз	0,023	363,638	2,883	0,213	7,403

Нижче показані графіки із врахуванням розкиду для кожної із ознак:





## ВИСНОВКИ

Під час аналізу отриманих даних виявлено, що найбільш відмінні значення спостерігаються в текстурних характеристиках, таких як кутовий другий момент та обернена моментальна різниця.

У здорової людини значення кутового другого моменту знаходиться в межах  $\pm 0,049$ , тоді як у осіб з патологією воно набагато менше, навіть кілька разів. Це свідчить про те, що значення  $0,049$  є нормою, і будь-яке значення, менше його, вказує на наявність патології.

Аналогічно, у здорової людини значення оберненої моментальної різниці становить приблизно  $\pm 0,28$ , а будь-яке значення, менше цього, свідчить про патологію.

Щодо характеристики контрасту, відхилення від норми, яка становить  $334,5$ , спостерігається лише при хронічному тиреоїдиті та дифузному зобі, а при гіпотеріозі та тиреотоксикозі значення близькі до норми.

У випадку кореляції, нормальне значення становить  $2,4 \cdot 10^{-4}$ , і значення більше його спостерігаються лише при гіпотеріозі та тиреотоксикозі.

З урахуванням результатів, отриманих в рамках даного дослідження характеристика ентропії не є відповідною для виявлення патологій. Також варто зазначити, що не всі текстурні характеристики, які можна отримати з матриць співвідношень рівнів сірого, підходять для класифікації ультразвукових зображень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Chuan-Yu Chang, Yue-Fong Lei, Chin-Hsiao Tseng, and Shyang-Rong Shih, "Thyroid segmentation and volume estimation in ultrasound images," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 57, no. 6, pp. 1348–1357, 2010.
2. Chuan-Yu Chang, Yue-Fong Lei, Chin-Hsiao Tseng, and Shyang-Rong Shih, "Thyroid Segmentation and Volume Estimation in Ultrasound Images," 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE SMC), Vols 1-6, pp. 3441–3446, 2008.
3. Kim, H. K., & Park, H. (2016). Texture classification using deep convolutional neural networks. *Neurocomputing*, 214, 530-542.
4. Meng, J., Zhang, L., Wu, Y., Zhang, D., & Yin, Y. (2020). A review of texture feature extraction methods for image analysis. *Artificial intelligence review*, 53(4), 2229-2270.
5. Kandaswamy, U. Comparison of Texture Analysis Schemes Under Nonideal Conditions / U. Kandaswamy, S.A. Schuckers, D.A. Adjeroh // *IEEE Transactions on Image Processing*. – 2011. – Vol. 20, № 8. – P. 2260–2275.
6. Petrou, M. *Image Processing: Dealing with Texture* / M. Petrou, P. Garcia Sevilla. – N. Y. : John Wiley & Sons Inc., 2006. – 618 p.
7. Russ, J.C. *The Image Processing Handbook* / J.C. Russ. – Boca Raton : CRC Press, 2011. – 885 p.
8. Petrou, M. *Image Processing: Dealing with Texture* / M. Petrou, P. Garcia Sevilla. – N. Y. : John Wiley & Sons Inc., 2006. – 618 p.
9. Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 621p.
10. Chen, X., Liu, W., & Yang, J. (2019). A survey of texture classification methods for image analysis. *Journal of imaging*, 5(12), 1-23.

11. Sawyer, T. W., Chandra, S., Rice, P. F. S., et al. Threedimensional texture analysis of optical coherence tomography images of ovarian tissue. *Physics in Medicine and Biology*. 2018. Vol. 63, No. 23. P. 29. DOI: 10.1088/1361-6560/aaefd2
12. Настенко, Є. А., Янковий, І. О. Класифікатор стану печінки у дітей з патологією гепатобіліарної системи за текстурними статистиками ультразвукового дослідження. *Біомедична інженерія і технологія*. 2019. Vol. 2. С. 15–23.
13. Настенко, Є. А., Дикан, І. М., Тарасюк, Б. А., та ін. МГУА класифікація станів печінки при дифузних захворюваннях на основі статистичних показників текстури ультразвукових зображень. *Індуктивне моделювання складних систем*. 2019. Vol. 11. С. 54-66.
14. Yongjian Yu and Scott T Acton, “Speckle reducing anisotropic diffusion,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 11, no. 11, pp. 1260–1270, 2002.
15. Yong Yue, Mihai M Croitoru, Akhil Bidani, Joseph B Zwischenberger, and John W Clark Jr, “Nonlinear multiscale wavelet diffusion for speckle suppression and edge enhancement in ultrasound images,” *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 25, no. 3, pp. 297–311, 2006.
16. Tuncer C Aysal and Kenneth E Barner, “Rayleigh-maximumlikelihood filtering for speckle reduction of ultrasound images,” *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 26, no. 5, pp. 712–727, 2007.