

О. І. Шпак, А. Й. Наконечний, Р. О. Назарук
Національний університет «Львівська політехніка»
кафедра комп'ютеризованих систем автоматички

ВИКОРИСТАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ У ВИМІРЮВАННІ ТЕМПЕРАТУРИ ТІЛА ЛЮДИНИ ТЕЛЕФОНОМ

<https://doi.org/>

© Шпак О. І., Наконечний А. Й., Назарук Р. О., 2021

В даній статті наведено аналіз основних методів вимірювання температури на основі чого обгрунтований вибір шумового методу. Проведено класифікацію видів шумів. Запропоновано вимірювання температури тіла людини теплошумовим методом за допомогою сучасних смартфонів. Розглянуто процедуру розкладання сигналу на окремі складові та підходи до його оброблення. Проведено аналізування та виділення корисної інформативної складової зашумленого сигналу.

Ключові слова: методи, температура, шум, вейвлет-перетворення, сигнал.

This article presents an analysis of the main methods of temperature measurement on the basis of which the choice of the noise method is absorbed. The classification of noise use is carried out. Measurement of human body temperature by heat and heat method with the help of modern smartphones is offered. The procedure of decomposition of signals in separate warehouses and approaches to its processing is considered. The analysis and selection of the useful information component of the protected signal is carried out.

Keywords: methods, temperature, noise, wavelet transform, signal.

Вступ

Багатофункціональності мобільного телефону немає меж. «Розумні гаджети» стали невід'ємною частиною нашого життя: люди використовують їх не лише для дзвінків або повідомлень, але й для перевірки погоди, здійснення онлайн-покупок, пошуку роботи тощо. На сьогоднішній день мобільний телефон виконує роль комп'ютера. У сучасному світі існує безліч інженерних розробок, які вдосконалюють телефони. Однак безконтактне вимірювання температури тіла людини в період нового коронавірусу стає інноваційною функцією смартфона й необхідністю при масових скупченнях народу, де неможливо виміряти температуру за допомогою інших пристроїв.

Актуальною проблемою сьогодення постав виклик вірусу COVID - 19, де вимірювання щоденної зміни температури тіла людини є обов'язковим як для інформування про можливе інфікування коронавірусом, так і для того щоб знизити швидкість поширення вірусу та попередити тяжкі наслідки даної хвороби. Навіть невелика зміна температури тіла, яка не буде відчуватися людиною, стане помітною для смартфона, і це буде попередженням про інфікування вірусом.

В даній роботі, у зв'язку з цим, розглядається підхід до вимірювання температури тіла людини смартфоном, в основі якого використовується аналіз та оцінка шумових параметрів сигналів. Особливістю даного підходу є використання ефективного і оперативного опрацювання сигналів.

Таким чином, основною метою роботи є розроблення та створення девайсу для температурного вимірювання тіла людини смартфоном на відстані, тобто без дотику сенсора користувачем екрана телефона, що є великою перевагою приладу.

Крім того, запропонований підхід може мати великий попит як у повсякденному житті, так і у медичній сфері, оскільки оцінка температури використовується в більшій половині вимірювань у технологічних процесах та стосується майже всіх галузей народного господарства. Звідси випливає, що розроблення та створення нового методу для вимірювання температури є інноваційним та актуальним на сьогодні. Серед користувачів смартфонів, певною мірою, є популярним визначення стану людини за біологічними показниками. Відповідно, такою інноваційною технологією використання телефону для вимірювання температури скористається більшість абонентів, і у сучасних девайсів буде ще одна розширена функція.

Мета роботи

Мета роботи полягає у використанні вейвлет перетворення шумового сигналу та застосуванні теплошумового методу вимірювання температури тіла людини смартфоном безконтактним способом і виведення інформації про температуру на екран мобільного гаджета.

Аналіз методів вимірювання температури

На сьогодні актуальним є дослідження вимірювання температури на віддалі, а також розроблення основних метрологічних правил таких вимірювань. Аналіз найбільш ефективних підходів і приладів вимірювання температури як об'єктів так і суб'єктів розглядає і досліджує методи вимірювання температури на відстані та виконання певних дій для забезпечення вимірювання, що призведе до запобігання виходу з ладу технічного устаткування і його контролю та до своєчасного попередження захворювання [1-6].

Коротка класифікація існуючих методів і пристроїв вимірювання температури може бути представлена наступним чином.

Термографічний метод. Прилади, які працюють на основі даного методу (тепловізори) представляють оптико-електронні прилади. Вони призначені для вимірювання температури, а також для вимірювання градієнту температур в інфрачервоному діапазоні спектру, який надалі візуалізує теплове поле об'єкта на екран. Відповідно як прилади для безконтактного вимірювання температури об'єктів і температурних полів використовуються тепловізори.

Акустичний метод. На основі даного методу в екстремальних умовах, тобто в діапазоні кріогенних температур, при високих рівнях радіації та ін. працюють вимірювачі температури. При проведенні вимірювань в замкнутому герметичному об'ємі (там де неможливо розташувати контактні давачі або використовувати інфрачервоні перетворювачі) також використовують вимірювачі температури. Саме у таких випадках застосовується акустичний метод з використанням акустичних давачів температури. Принцип їх дії відображає функціональну залежність швидкості звуку від температури даного середовища, через яку він поширюється.

Ультразвуковий метод. Даний метод оцінки займає провідне місце серед методів вимірювання та контролю температури. Він зумовлений розвитком фізики твердого тіла, мікроелектроніки, використання загального прогресу акустики, як науки, та ін. В процесі випробувань експериментальні зразки ультразвукових термометрів виявили низку переваг перед традиційними засобами вимірювання температури. Завдяки своїм перевагам ультразвукові термометри в багатьох випадках дозволяють проводити вимірювання температури суб'єктів та об'єктів, доступ до яких традиційними засобами вимірювання є обмежений або навіть неможливий. Ультразвукові багатозонні імпульсні термометри працюють переважно в режимі відбивання. Вони вимірюють часовий інтервал температур між парою відбитих сигналів починаючи від початку та кінця в межах вибраної вимірювальної зони.

Томографічний метод. Просторовий розподіл температури в електричній томографії одержують спираючись на результати вимірювань електричного опору під час електричного зондування об'єкту. Якщо неможливо нанести термочутливий резистивний перетворювач на

досліджувану поверхню, тоді способом вирішення цієї проблеми є застосування вимірювальних перетворювачів температури представлених у формі лінійних чутливих елементів. В процесі застосування томографічних вимірювань відкриваються великі перспективи, які стосуються промисловості та наукових досліджень. Тому такі вимірювання володіють певними перевагами перед традиційними, оскільки в результаті томографічних вимірювань отримується інформація про просторовий розподіл температури досліджуваного об'єкту. В даному випадку відбирання інформації, що вимірюється, відбувається без використання вимірювальних перетворювачів всередині досліджуваного об'єкту, а тільки на його зовнішній поверхні, тобто можна стверджувати, що томографічні вимірювання є безконтактними.

Метод багатозонного сенсорного вимірювання температури. Такий метод використовується у резервуарах зберігання і каталітичних процесах. Щоб контролювати протікання реакції в реакторах необхідно виміряти профіль температури в шарах каталізаторів (наприклад, в нижній, верхній і середній частинах шару каталізаторів) в одній або декількох площинах. Термопари або перетворювачі термоелектричні, в якості чутливих елементів, застосовуються в процесах, в яких температура протікання реакції становить приблизно + 300 °C і більше. терморезистори Pt100 (термоперетворювачі опору платинові) застосовуються в резервуарах зберігання. Для скорочення кількості під'єднань і досягнення потрібних точок вимірювання температури у тривимірному просторі всередині технологічного апарату використовуються багатозонні сенсори вимірювання температури. Також вони застосовуються для підвищення швидкодії процесу вимірювання та для підвищення ефективності вимірювання температури.

Матричні сенсори інфрачервоного випромінювання використовують технологію термобатарей, технологію MEMS, яка базується на використанні ефекту Зеєбека, і термопара є основним елементом такої матриці. На сьогоднішній день матричні давачі доступні як "теплові камери" з невеликою кількістю термопар у сітці. Такого типу сенсори або давачі використовуються в системах безпеки для детектування температури людей зберігаючи їх конфіденційність та у кліматичних системах автомобілів і будинків. Матричні давачі інфрачервоного випромінювання є компактними, економічно ефективними, відрізняються від інших низькою споживаною енергією.

Термометри опору. Це термометри, принцип дії яких полягає у вимірюванні зміни опору провідника або напівпровідникового приладу (термістора) зі зміною температури. До електричних також відносяться резистивні прилади для вимірювання температури, оскільки вони використовують опір як характеристику зміни від температури. Загалом, термометри опору мають кращу лінійність ніж термопари і в них опір зростає із підвищенням температури. З іншого боку, термістори мають інший тип конструкції вони мають суттєву нелінійність і в них опір зменшується із підвищенням температури.

Класифікація видів шумів

На сьогодні вагоме місце серед різних методів вимірювання займають методи, в основі яких лежить використання оцінювання шумових параметрів сигналів. У більшості методів шумові складові сигналів розглядаються як завади, які потрібно усувати різноманітними способами. Але при вимірюванні температури тіла людини їх можна використати як інформативний, корисний сигнал, оцінювання яких відображає температурний стан об'єктів.

Класифікація видів шумів представлена на рис. 1 та детально проаналізована в роботі [7].

З наведеної класифікації виникає актуальне питання: які із наведених типів шумів є температурозалежними і можуть використовуватися для перетворення, обробки та оцінки температури об'єктів. З наведеного в роботі [7] аналізу випливає, що найбільш температурозалежними є теплові шуми. З огляду на це доцільно розглянути детальніше саме тепловий шум. При шумових вимірюваннях в переважній більшості визначають середнє або середньоквадратичне значення (СКЗ) напруги теплового шуму, яке прямо пропорційне термодинамічній температурі об'єкта, що досліджується.



Рис. 1. Види шумів

Теплові шуми

Серед різних видів вимірювання температури найбільш актуальне місце займає термометрія шуму. В такій термометрії використовується термічне збудження електронів у провіднику як індикатор його температури. Таке теплове збудження представляється як сигнал білого шуму на кінцях резистора, вимірювання на затискачах якого дозволяє отримати інформацію про температуру. Перевага даного методу в тому, що цей метод практично не залежить від усіх умов навколишнього середовища та мало залежить від властивостей самого матеріалу, що використовується як датчик. Більше того, така шумова температурна залежність має додатньо виражений лінійний характер.

Тепловим шумом називається електронний шум, що виникає всередині електричного провідника під час теплового збудження носіїв заряду, зазвичай це є електрони. Такий шум може виникати в будь-якому провіднику електричного струму, що має активний опір, і є пов'язаний з хаотичною діяльністю рухомих носіїв заряду таких як електрони. В результаті цього на кінцях провідника з'являються флуктуації напруги, тобто хаотична зміна напруги. Незалежно від прикладеної напруги і виникає даний тепловий шум, який представлений на рис.2.

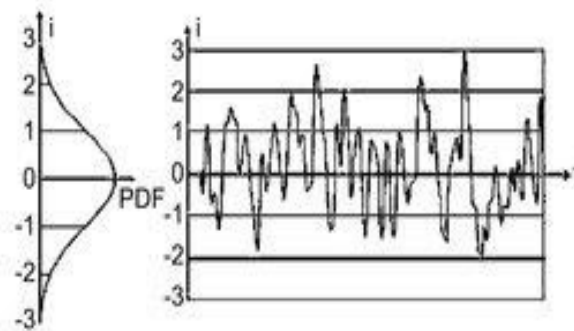


Рис. 2. Випадковий спектральний розподіл теплових шумів

З літературних джерел відомо, що електрони у резисторі мають теплову енергію і рухаються в матеріалі випадковим чином, отримуючи при цьому зіткнення з атомами кристалу в процесі руху. Саме такі випадкові рухи електронів створюють тепловий шум. При цьому виникають хаотичні зміни (флуктуації), які пояснюються як результат дуже великого числа випадкових незалежних "подій". З таких подій виникає явище, що призводить до створення імпульсу напруги або струму на затискачах, а суперпозиція усіх таких імпульсів викликає флуктуацію теплового шуму. Відповідно до цієї моделі, тепловий шум є прикладом послідовності випадкових імпульсів.

Чим нижча температура і більше значення опору, тим менші флуктуації струму в колі. В електричних колах у процесі аналізу теплових шумів Гаррі Найквістом доведено, що значення температури буде залежати від середньоквадратичного значення (СКЗ) напруги сигналу шуму $\Delta\bar{U}^2$, значення опору первинного перетворювача R і ширини смуги частот Δf :

$$T = \frac{\Delta\bar{U}^2}{4kR\Delta f} \quad (1)$$

Тут похибка вимірювання температури буде залежати від похибки оцінки СКЗ напруги шуму δ_U , похибки смуги частот $\delta_{\Delta f}$ і похибки первинного перетворювача δ_R , тобто

$$\delta T = \delta_U + \delta_{\Delta f} + \delta_R \quad (2)$$

Можуть бути суттєво зменшені складові похибки обчислення СКЗ напруги та похибки смуги частот у випадку використання вейвлет-перетворення для опрацювання сигналів. Таким чином, можна стверджувати, що з допомогою такого підходу можна проводити оцінку температури об'єктів з достатньою точністю.

Проведений аналіз різних типів шумів вказує на те, що теплові шуми мають найбільшу температурну залежність та лінійний характер зміни [8] і є найбільш придатними для вимірювання температури. Результати дослідження функціональної залежності середньоквадратичного значення (СКЗ) напруги від температури в діапазоні температур 0 – 150 °С теплового шуму вказують на те, що температура прямо пропорційна від СКЗ (рис. 3) [9, 10].

За результатами дослідження функціональної залежності, яка представлена на рис. 3, можна зробити висновок, що залежність температури від СКЗ напруги є достатньо лінійною. Оскільки при вимірюванні температури тіла людини використовується лише діапазон температур від 30 до 50 градусів Цельсія, то така лінійність може бути суттєво покращена.

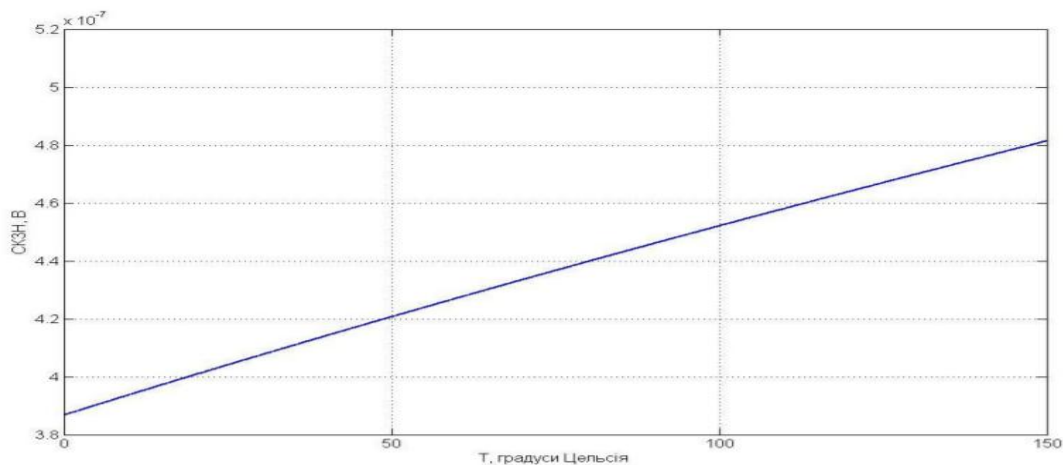


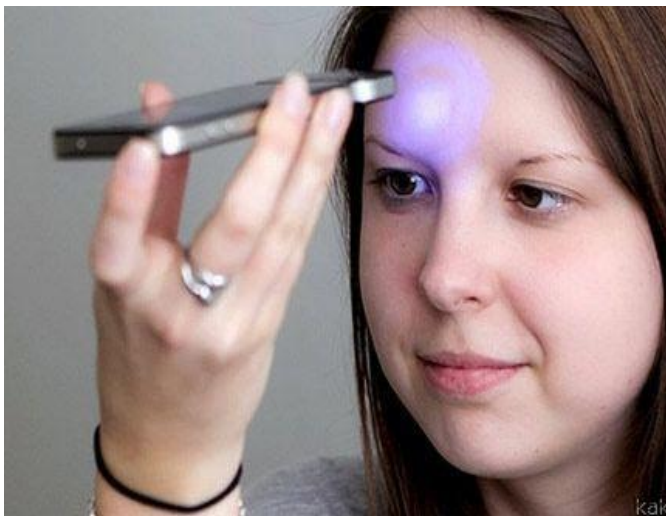
Рис. 3. Залежність СКЗ напруги від температури в діапазоні температур 0 – 150 °С

До важливої особливості подання сигналів у вейвлет-області можна віднести таке представлення сигналів, яке має енергетичний зміст, і яке можна ефективно виділити, а їх енергетичне наповнення може слугувати оцінкою температури.

Дослідження вимірювання температури теплошумовим методом за допомогою сучасних мобільних пристроїв

Сучасні мобільні гаджети мають безліч корисних функцій: вимірювання числа кроків, витрати калорій, серцебиття, однак мало існує смартфонів, у функції яких входили б можливості вимірювання температури тіла людини.

У деяких сучасних гаджетах є мобільний додаток, який дозволяє виміряти температуру за допомогою камери смартфона [11]. Об'єктив смартфона може ідентифікувати жар за лічені секунди. Звичайна камера і спалах iPhone здатні виявити точну температуру тіла людини. Для цього вказівний палець приставляється до лінзи смартфона і тримається декілька секунд. Вмонтований термометр розрахує серцевий ритм, а також температуру тіла за «особливим алгоритмом», який аналізує пульсацію кровеносних судин. Діапазон температур, який фіксується камерою iPhone, коливається в межах 34 - 42°C.



До деяких мобільних телефонів розроблені пристрої, які підєднуються до роз'єму для синхронізації телефону або планшета. Пристрій обладнаний інфрачервоним сенсором, який направляє на будь-яку зручну частину тіла. Приблизно через чотири секунди на екрані гаджета індикуються значення температури з точністю $\pm 0,3$ градуси Цельсія. Крім того, передбачена можливість оцінки температури в декількох місцях на основі чого програма розрахує середню температуру, тобто найбільш точну до реальної [12].

В основі дослідження вимірювання температури шумовим методом за допомогою смартфона доповнюється модель девайсу певними мікроелементами, які вбудовані у мікросхемі гаджета. За допомогою піктограми, яка знаходиться на екрані телефону, з використанням камери, відбувається перетворення теплошумового сигналу у цифровий код, який виводиться у вигляді показів вимірювання температури тіла людини на екран телефону.

Процес передачі шумового сигналу з використанням вейвлет-перетворення на екран смартфона відбувається згідно структурної схеми, наведеної на рис. 4 [13]. Обробка шумового сигналу і його оцінка відбувається у вейвлет області.

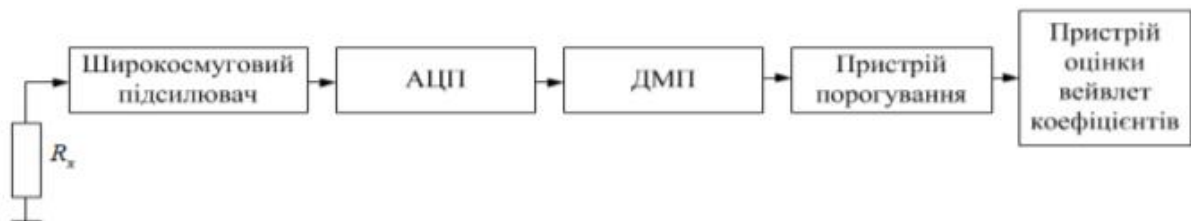
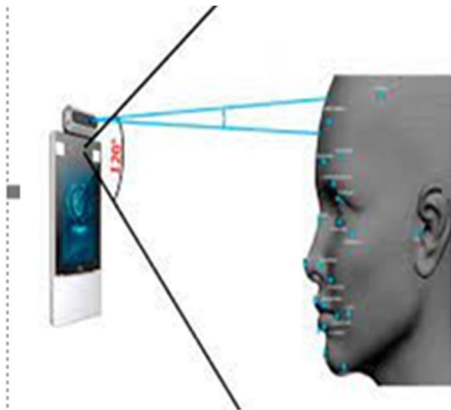


Рис. 4. Структурна схема процесу передачі шумового сигналу з використанням вейвлет-перетворень

Особливістю такої оцінки є те, що дана схема дозволяє проводити вимірювання температури тіла людини на відстані, не дотикаючись до сенсорного дисплею телефону.

Якщо доповнити певними елементами схеми сучасні мобільні гаджети, то можна без будь яких складнощів оцінювати стан здоров'я людини щохвилини, достатньо лише націлити камеру смартфона на людину. Таким чином, шляхом наведення камери гаджета на людину можна отримати на екрані смартфона реальну температуру її тіла.



Щоб виміряти безконтактно температуру тіла методом теплових шумів, пропонується створити систему в корпусі смартфона, в основі якої буде використано лінзу камери телефона. Вона буде перехоплювати температурні шуми об'єкта вимірювання та передавати їх на термобатарею. Термобатарея через певний алгоритм і оброблення сигналу у вейвлет перетворення зможе передавати температурні дані на екран гаджета. Згідно даного методу вимірювання температури тіла людини має відбуватись на відстані приблизно 0,5 метра.

В основу даного розроблення пропонується додати резистивний сенсор до друкованої плати смартфона. Головною складовою такого вимірювання буде проаналізований тепловий шум, що утвориться у резистивному сенсорі.

У пристрої оцінювання вейвлет-коефіцієнтів здійснюватиметься підсумовування коефіцієнтів вейвлет-перетворення на всіх рівнях розкладу та відбуватиметься остаточне підсумовування під час фіксованого періоду. Оскільки коефіцієнти вейвлет-перетворення володіють енергетичним змістом, тоді температура резистивного перетворювача буде змінюватися пропорційно до зміни енергії. Отже, безпосереднє оцінювання температури вимірюваного об'єкта відбувається навіть тоді, коли не проводиться обернене перетворення (у часову область з часо-частотної).

Аналіз шумових сигналів у малоохвильовій вейвлет області

Для аналізу шумових сигналів у малоохвильовій вейвлет області переважно використовується дискретне вейвлет (малоохвильове) перетворення (ДМП). В процесі ДМП обчислюються вейвлет коефіцієнти $c_{j,k}$ для $j=1, \mathbf{L}, J$ і масштабні коефіцієнти $b_{j,k}$ наступним чином:

$$\text{ДМП} \{x[n]; 2^j, k2^j\} = c_{j,k} = \mathop{\mathring{a}}_n x[n] h_j^*[n - 2^j k], \quad (3)$$

$$b_{j,k} = \mathop{\mathring{a}}_n x[n] g_j^*[n - 2^j k], \quad (4)$$

де $x[n]$ дискретні вибірки вхідного сигналу; $h_j^*[n - 2^j k]$ аналізуюча дискретна малоохвильова функція, а $g_j^*[n - 2^j k]$ аналізуюча масштабна функція.

Враховуючи, що вейвлет-перетворення і масштабні функції повинні бути зведені до одного порядку, малоохвильові і масштабні функції обчислюються ітеративно [14]:

$$g_1[n] = g[n], \quad h_1[n] = h[n], \quad (5)$$

$$g_{j+1}[n] = \mathring{a}_k g_j[k] g[n - 2k], \quad (6)$$

$$h_{j+1}[n] = \mathring{a}_k h_j[k] g[n - 2k]. \quad (7)$$

В даному випадку відбувається перехід від одного порядку j до наступного $(j+1)$ використовуючи інтерполяційний оператор:

$$f[n] \mathring{\otimes} \mathring{a}_k f[k] g[n - 2k], \quad (8)$$

який передбачає як дискретний еквівалент розширення $f(t) \mathring{\otimes} 2^{-1/2} f(t/2)$.

Враховуючи вираз для одного рівня розкладу обернене перетворення з врахуванням переходів від одного порядку до іншого можна записати:

$$x[n] = \mathring{a}_{k \in \mathbb{Z}} c_{j+1,k} h_{j+1}[n - 2^{j+1}k] + \mathring{a}_{k \in \mathbb{Z}} b_{j+1,k} g_{j+1}[n - 2^{j+1}k]. \quad (9)$$

Враховуючи (3) і (4), а також ортогональність базових функцій вейвлет-перетворень, матимемо:

$$c_{j+1,k} = \mathring{a}_k b_{j,k} h_j^*[n - 2^j k], \quad (10)$$

а

$$b_{j+1,k} = \mathring{a}_k b_{j,k} g_j^*[n - 2^j k]. \quad (11)$$

Саме вирази (10) і (11) використовуються для швидкого алгоритму розкладу ДМП шумових сигналів.

Оскільки процес розкладу є ітераційним, то теоретично число рівнів розкладу j буде нескінченим. Вибір значення j буде залежати від необхідного рівня інформативності отриманих розкладань. Щоб використати вейвлети з порядком 8 та більше, необхідно вибрати так щоб кількість рівнів розкладу була $j \geq 4$.

Таким чином, залежності (10) і (11) визначають концепцію кратномасштабного аналізу, тобто багаторівневого розкладання. До того ж, одержані на кожному рівні результати є пов'язані один з одним. Можливість такого розкладу визначає одну з переваг вейвлет аналізу у порівнянні з часовим або частотним, а саме забезпечення багатороздільної здатності у часо-частотній області. Зазначені вище властивості вейвлет-перетворення передбачають широке використання цього методу для оброблення сигналів, таких як широкосмугових, швидкоплинних, нестаціонарних. З огляду на це представляється доцільним застосування такого підходу для аналізу складних шумоподібних сигналів з метою виділення з них корисних інформативних даних.

Оцінка температури у вейвлет області

Оцінка температури у вейвлет області з врахуванням відповідного опору і визначеного діапазону частот шумових сигналів визначається наступним чином [7]:

$$T = \frac{1}{4kRDfn} \mathring{a}_{k=1}^{n-1} u^2(t_k) = k \mathring{a}_{k=1}^{n-1} u^2(t_k) = k \mathring{a}_{j_0} U_{j_0}^2 + \mathring{a}_{j^3 j_0} U_j^2 \mathring{\otimes} \mathring{\otimes} \quad (12)$$

де U_{j_0} - СКЗ напруги найнижчої частотної підсмуги j_0 ; $\{U_j\}$ - ряд СКАЗ напруги кожної частотної підсмуги або вейвлет рівня j , який є вищий за масштабний рівень j_0 ; R - опір резистора, з якого знімається шумова напруга; n – кількість вибірок шумового сигналу на протязі часу t ; $k\phi = 1/4kRDfn$.

Отриманий вираз (12) лежить в основі розроблення схеми комп'ютерного моделювання запропонованого процесу оцінки температури з використанням шумових сигналів, представлених у вейвлет області.

Для вейвлет розкладу сигналів використовувався алгоритм поетапного перетворення (lifting transform), який реалізований на вейвлет фільтровому банку системи MATLAB [15-19]. Ортогональні низькочастотні і високочастотні фільтри банку побудовані на СІВ або НІВ фільтрах. Основна перевага НІВ фільтрів – це добра вибірковість частоти і висока ефективність обчислення. Це дуже важливо при використанні в системах оцінювання температури шумових сигналів реального часу.

В роботі синтезована схема 4-рівневого вейвлет перетворювача, результати розкладу якого представлені на рис. 5 і рис. 6.

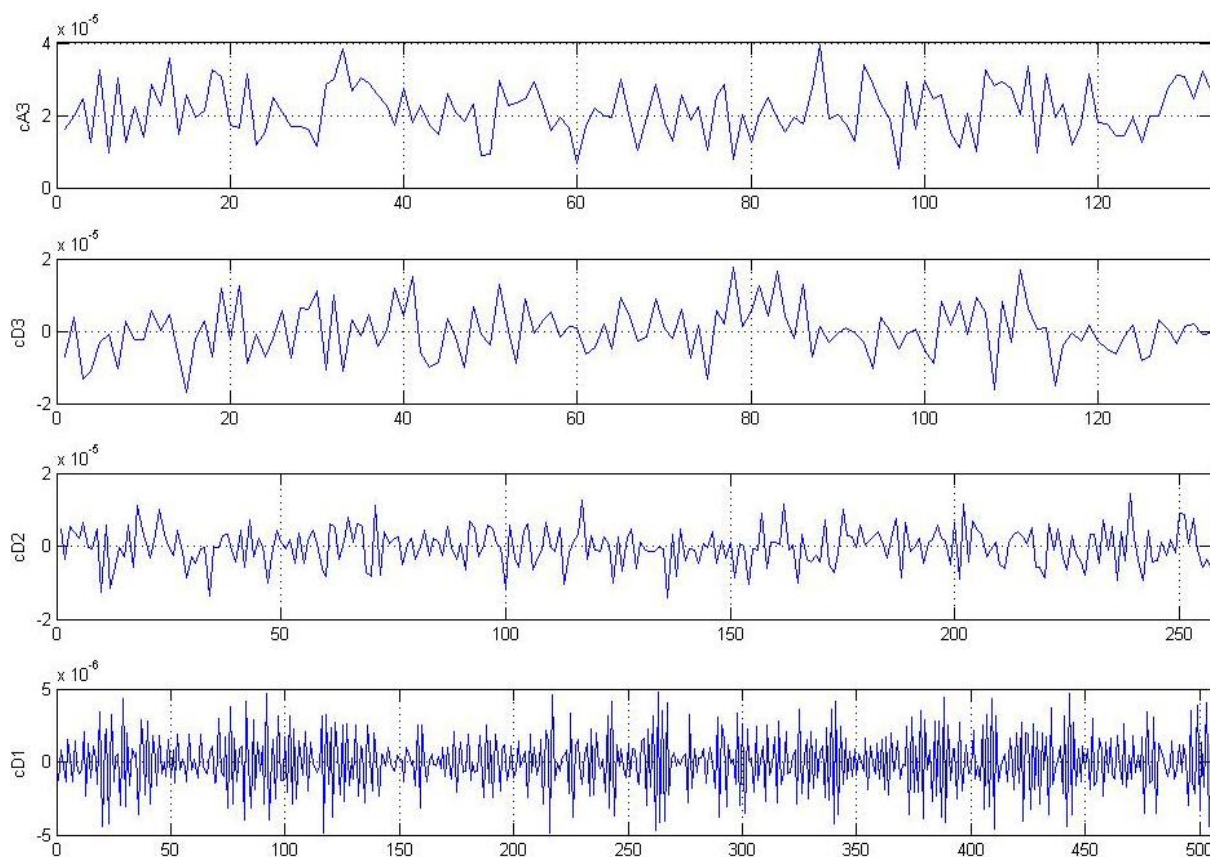


Рис. 5. Чотири рівні розкладу шумового сигналу з використанням базових функцій Добеші.

Проведене моделювання з допомогою вейвлет перетворювача показало, що відхилення отриманих результатів не перевищує 0,05% від розрахункового.

Розкладені на чотирьох частотних піддіапазонах сигнали шуму, які представлені у вигляді вейвлет коефіцієнтів, сумуються протягом періоду вимірювання n у кінцевому суматорі.

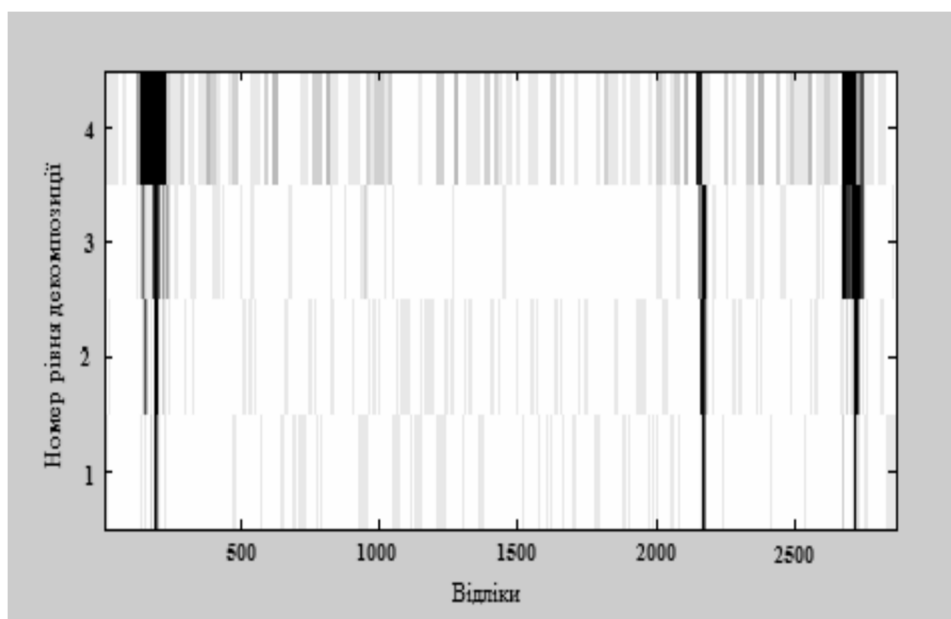


Рис. 6. Вейвлет-шкалограма 4-ох рівнів розкладу шумового сигналу

Висновки

В епоху пандемії вимірювання температури тіла людини сучасними смартфонами є дуже важливим як для попередження виявлення захворювання, так і запобігання тяжких наслідків коронавірусної хвороби.

На основі проведеного аналізу теплового шуму отриманий вираз для оцінки температури у часо-частотній (вейвлет) області. В даному випадку представляється можливість суттєво підвищити завадостійкість і точність вимірювання температури.

Показано, що у випадку вимірювання температури у вейвлет області окремі підсмуги напруги будуть рееструватися і в часі, і в частоті. Кожна складова підсмуги представляє вклад в загальний сумарний елемент середньої температури, а остаточне сумування температур підсмуг буде представлено у вигляді загальної середньої температури. Такий підхід дозволяє стежити за потоками температур через навантаження системи на кожному вейвлет рівні.

Список літератури

1. Микитин І. П. *Вимірювання температури шумовими методами. Теорія і практика: автореф. дис. . д-ра техн. наук: спец. 05.11.04 «Прилади та методи вимірювання теплових величин» // Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2009. 42 с.*
2. Наконечний А. Й, Мозола Д. М. *Оцінка температури об'єктів на основі їх шумових характеристик з вейвлет-перетворенням сигналів: Випуск 1, № 1, АММ. - Львів, 2019.*
3. Яненко О.П., Василенко М.П. *«ШУМОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ»*, м. Київ, Україна, 2016., № 4, с.36-42. URL : https://kivra.kpi.ua/wp-content/uploads/file/rtpsas_2016/RTPSAS_2016_s3_t09.pdf,
4. Marc C. Decretion Department *«HIGH TEMPERATURE MEASUREMENT by NOISE THERMOMETRY» Department of Technology and Energy CEN/SCK Nuclear Research Center B-2400 MOL (Belgium).*
5. Ван дер Зил Альдерт. *Шуми при измерениях / пер. с англ.; под. ред. А. К. Нарышкина. М.: Мир, 1979. 293 с.*

6. Fleischmann, A. Reiser & C. Enss «Noise Thermometry for Ultra» *Journal of Low Temperature Physics* volume 201, pages 803–824 (2020).
7. А. Й. Наконечний, Д. М. Мозола. Оцінка температури об'єктів на основі їх шумових характеристик з вейвлет-перетворенням сигналів. URL : <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/mar/21128/amm-2-21-26.pdf>
8. Кольорові шуми. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Colors_of_noise.
9. Співвідношення сигнал-шум вимірювання температури з сервісними давачами на різних потоках потоку. URL : https://www.researchgate.net/publication/314127586_Signal-to-noise_ratio_of_temperature_measurement_with_Cernox_sensors_at_various_supply_currents.
10. Шум Найквіста. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%E2%80%93Nyquist_noise.
11. Приложение позволяет измерить температуру с помощью камеры iPhone. URL : <https://www.digger.ru/news/prilozhenie-pozvolyaet-izmerit-temperaturu-s-pomoshhyu-kamery-iphone>.
12. Вимірювання температури телефоном. URL : <https://healthukr.ru/rizne/novini-ta-statti-medicini/20494-za-dopomogoju-mobilnogo-telefonu-teper-mozhna.html>
13. А. Й. Наконечний, Д. М. Мозола. Оцінка температури об'єктів на основі їх шумових характеристик з вейвлет-перетворенням сигналів. URL : <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/mar/21128/amm-2-21-26.pdf>.
14. Наконечний А.Й., Лагун І.І., Верес З.Є., Наконечний Р.А., Федак В.І. Теорія і практика обробки сигналів у малохвильовій (wavelet) області, під редакцією А.Й. Наконечного: Монографія. – Львів: Вид-во Растер -7, 2020 – 470 с.
15. Микитин І. П. Засоби та методика дослідження шумових сигналів І. П. Микитин, Б. І. Стадник // Вимірювальна техніка та метрологія. 2008. № 68. С. 14–20.
16. Методи цифрової обробки сигналів для вібраційної діагностики авіаційних двигунів: монографія [Текст]/ Н.І. Бурау, О.М. Павловський, Ю.В. Сопілка, Л.Л. Яцко. – К.: НАУ, 2012. – 152 с.
17. Wavelet Families // Mathworks. URL : <https://se.mathworks.com/help/wavelet/ug/wavelet-familiesadditional-discussion.html>.
18. Сато Юкио. Обработка сигналов. Первое знакомство / Юкио Сато. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 176 с.
19. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – 2-е издание. – СПб.: Питер, 2006. – 752 с.

References

1. Mykytyn I. P. Vymiriuvannia temperatury shumovymy metodamy. Teoriia i praktyka: avtoref. dys. . d-ra tekhn. nauk: spets. 05.11.04 «Prylady ta metody vymiriuvannia teplovykh velychyn» // Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnik». Lviv, 2009. 42 s.
2. Nakonechnyi A. Y, Mozola D. M. Otsinka temperatury obiektiv na osnovi yikh shumovykh kharakterystyk z veivlet-peretvorenniam syhnaliv: Vypusk 1, № 1, AMM. - Lviv, 2019.
3. Ianenko O.P., Vasylenko M.P. «ShUMOVYI METOD VYMIRIUVANNIA TEMPERATURY», m. Kyiv, Ukraine, 2016., № 4, s.36-42. URL : https://kivra.kpi.ua/wp-content/uploads/file/rtpsas_2016/RTPSAS_2016_s3_t09.pdf,
4. Marc C. Decreton Department «HIGH TEMPERATURE MEASUREMENT by NOISE THERMOMETRY» Department of Technology and Energy CEN / SCK Nuclear Research Center B-2400 MOL (Belgium).
5. Van der Zil Aldert. SHumy pri izmereniyah / per. s angl.; pod. red. A. K. Naryshkina. M.: Mir, 1979. 293 s.
6. Fleischmann, A. Reiser & C. Enss «Noise Thermometry for Ultra» *Journal of Low Temperature Physics* volume 201, pages 803–824 (2020).
7. А. Y. Nakonechnyi, D. M. Mozola. Otsinka temperatury obiektiv na osnovi yikh shumovykh kharakterystyk z veivlet-peretvorenniam syhnaliv. URL : <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/mar/21128/amm-2-21-26.pdf>

8. Kolorovi shumy. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Colors_of_noise.
9. Spivvidnoshennia syhnal-shum vymiriuvannia temperatury z servisnymi davachamy na riznykh potokakh potoku. URL : https://www.researchgate.net/publication/314127586_Signal-to-noise_ratio_of_temperature_measurement_with_Cernox_sensors_at_various_supply_currents.
10. Shum Naikvista. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%E2%80%93Nyquist_noise.
11. Prilozhenie pozvolyaet izmerit temperaturu s pomoshhyu kamery iPhone. URL : <https://www.digger.ru/news/prilozhenie-pozvolyaet-izmerit-temperaturu-s-pomoshhyu-kamery-iphone>.
12. Vymiriuvannia temperatury telefonom. URL : <https://healthukr.ru/rizne/novini-ta-statti-medicini/20494-za-dopomogou-mobilnogo-telefonu-teper-mozhna.html>
13. A. Y. Nakonechnyi, D. M. Mozola. Otsinka temperatury ob'ektiv na osnovi yikh shumovykh kharakterystyk z veivlet-peretvorenniam syhnaliv. URL : <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/mar/21128/amm-2-21-26.pdf>.
14. Nakonechnyi A.I., Lahun I.I., Veres Z.Ie., Nakonechnyi R.A., Fedak V.I. Teoriia i praktyka obrobky syhnaliv u malokhvylovii (wavelet) oblasti, pid redaktsiieiu A.I. Nakonechnoho: Monohrafiia. – Lviv: Vydvo Raster -7, 2020 – 470 s.
15. Mykytyn I. P. Zasoby ta metodyka doslidzhennia shumovykh syhnaliv I. P. Mykytyn, B. I. Stadnyk // Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia. 2008. No 68. S. 14–20.
16. Metody tsyfrovoi obrobky syhnaliv dlia vibratsiinoi diahnostryky aviatsiinykh dvyhuniv: monohrafiia [Tekst]/ N.I. Burau, O.M. Pavlovskiy, Yu.V. Sopilka, L.L. Yatsko. – K.: NAU, 2012. – 152 s.
17. Wavelet Families // Mathworks. URL : <https://se.mathworks.com/help/wavelet/ug/wavelet-familiesadditional-discussion.html>.
18. Sato YUkio. Obrabotka signalov. Pervoe znakomstvo / YUkio Sato. – M.: Dодjeka-XXI, 2008. – 176 c.
19. Sergienko A.B. Cifrovaya obrabotka signalov / A.B. Sergienko. – 2-e izdanie. – SPb.: Piter, 2006. – 752 s.