

Технічні науки

УДК 620.3

Харченко Наталя Сергіївна

студентка

*Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Харченко Наталья Сергеевна

студентка

*Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Kharchenko Natalia

Student of the

*National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

Сердаковський Віталій Сергійович

старший викладач кафедри БМК

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

Сердаковский Виталий Сергеевич

старший преподаватель кафедры БМК

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Serdakovsky Vitaliy

*Senior Lecturer of the Department of Biomedical Cybernetics
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**ОЗНАЙОМЧИЙ АНАЛІЗ ОЦИФРОВАНОГО ЗОБРАЖЕННЯ
СПІРАЛІ ДЛЯ РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ ХВОРОБИ ПАРКІНСОНА
ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОЦИФРОВАННОГО
ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ БОЛЕЗНИ
ПАРКИНСОНА
TRIAL ANALYSIS OF DIGITIZED IMAGES FOR EARLY DIAGNOSIS
OF PARKINSON'S DISEASE**

Анотація. У статті представлено огляд сучасної літератури, в якій розглядається використання різних методів обробки оцифрованого зображення та діагностики хвороби Паркінсона. Також наведено новий алгоритм, що дозволяє проаналізувати зображення з намальованою спіраллю Архімеда для ранньої діагностики хвороби. Розглядається проблематика отримання достовірних результатів за допомогою представленого методу. Аналіз літератури продемонстрував, що на сьогоднішній день тестування людей, в яких є підозра на тремтливий параліч, ускладнене на ранніх етапах хвороби, тому впровадження нових технологій направлене на допомогу медичним працівникам та зменшення часу для виявлення недугу.

Ключові слова: хвороба Паркінсона, сегментація зображення, комплексне число, трасування ліній, векторизація.

Аннотация. В статье представлен обзор современной литературы, в которой рассматривается использование разных методов обработки изображения и диагностики болезни Паркинсона. Также приведено новый алгоритм, который позволяет проанализировать изображение с нарисованной спиралью Архимеда. Рассматривается проблематика получения достоверных результатов с помощью представленного метода. Анализ литературы продемонстрировал, что на сегодняшний день тестирование людей, у которых есть подозрение на треморный паралич,

затруднено на ранніх етапах болезни, поэтому внедрение новых технологий направлено на помощь медицинским работам и уменьшению времени для выявления болезни.

***Ключевые слова:** болезнь Паркинсона, сегментация изображения, комплексное число, трассировка линий, векторизация.*

***Summary.** The article provides an overview of modern literature, that describe the use of different methods of image processing and Parkinson's disease diagnostic. A new provided algorithm allows you to analyze an image with a drawn Archimedes spiral. The problems of obtaining reliable results using the presented method are considered. An analysis of the literature showed that today testing people who have a suspicion of trembling paralysis is difficult in the early stages of the disease, so the introduction of new technologies is aimed at helping medical work and reducing the time to detect the disease.*

***Key words:** Parkinson's disease, image segmentation, complex number, line tracing, vectorization.*

Постановка проблеми. У наш час науковці змогли знайти різні способи діагностики та лікування багатьох відомих захворювань, проте нажаль залишилися й ті, які дуже складно виявити та неможливо вилікувати. Одним з таких захворювань є хвороба Паркінсона. Сучасна медицина досі не має можливості повністю її вилікувати, але існують операційні методи та лікарські засоби, що здатні уповільнити процес прогресування та зробити кращим життя хворого. Процес лікування ускладнюється тим, що чим раніше буде виявлено хворобу, тим краще та ефективніше будуть себе демонструвати сучасні препарати для профілактики.

Одним з найголовніших та найвідоміших симптомів хвороби Паркінсона є присутній есенціальний або дистонічний тремор. Нажаль

хворому досить складно помітити у себе присутній тремор на початковій стадії, проте існує ряд тестів, що дозволяють це зробити. Найефективнішим і в той же час дуже простим є малювання спіралі Архімеда на графічному планшеті або звичайному аркуші паперу.

Було виявлено основну проблему даного тесту, а саме: для його виконання людині необхідно бути присутнім безпосередньо у кабінеті лікаря-невропатолога або мати у наявності графічний планшет. По-перше люди, що входять до зони ризику, зазвичай похилого віку, що ускладнює часті візити до медика. Також дистанційна діагностика дозволить усім бажаючим проходити її не виходячи з дому. По-друге сучасні програми дистанційної діагностики потребують наявності у людини графічного планшета, що ускладнює процес тестування.

Новий алгоритм дозволяє виконувати тест за допомогою лише аркушу паперу, кулькової ручки та смартфона, що робить його легким та доступним для всіх бажаючих.

Формування цілей статті (постановка завдання). Аналіз сучасних наукових доповідей, праць та методів, які висвітлюють питання обробки оцифрованого зображення. Обґрунтування доцільності використання представленого алгоритму, а також достовірність отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу. Про хворобу Паркінсона та тремор було відомо, ще в єгипетському папірусі XII сторіччя н.е., а перша публікація була зроблена Джеймсом Паркінсоном у 1817 році під назвою «Есе про тремтячий параліч». Через покращення якості життя та збільшення його тривалості, сьогодні хвороба є однією з найбільш розповсюджених та вражає все більшу кількість людей. Захворювання вражає приблизно 0,4% людей, вік яких більше 40 років, 1% - більше 65 років, 10% - більше 80 років. Середній вік початку захворювання приблизно 57 років.

Хвороба Паркінсона – повільно прогресуюча дегенеративне захворювання, що характеризується наявністю тремору спокою, скутості, уповільнення рухів із зменшенням їх амплітуди, порушення ходи і/або положення тіла [1]. Для більшості пацієнтів симптоми починаються непомітно, а першим із них є тремор спокою однієї руки. Через те, для сучасної медицини хвороба залишається повністю невиліковною, основним є профілактика даного захворювання та зменшення прогресування симптомів. Тому, для покращення лікування головним направленням стало рання діагностика хвороби Паркінсона, оскільки коли хворий вже починає відчувати тремор, може бути пізно.



Рис.1. Тест-малюнок

Одним із новіших методів діагностики стала спіраль Архімеда (рис.1). Пацієнту необхідно намалювати на аркуші паперу спіраль, таким чином, щоб вона була максимально наближена до спіралі Архімеда [6]. Ступінь захворювання визначається шляхом порівняння намальованої спіралі з умовно «ідеальною». Такий спосіб діагностики продемонстрував точність результатів рівну 93% [7, с.46-54]. В даній роботі представлено алгоритм для дистанційної діагностики заснований на обробці зображення з намальованою спіраллю Архімеда(рис. 2.).



Рис. 2. Малюнок хворого есенціальним тремором

Крок 1. Алгоритм починається після надходження зображення(рис.2.) з виконаним тестом, яке необхідно підготувати для подальшої обробки. Ми можемо побачити, що дане зображення спіралі є неоднорідним, на ньому присутні шуми, що ускладнює його аналіз. Необхідно виконати бінаризацію зображення, щоб отримати більш точні результати та побачити «скелет» спіралі. Бінаризація передбачає перетворення малюнку у двокольорове, чорно-біле. Основним принципом є порівняння кожного пікселя з деяким пороговим значення. Після чого, пікселю буде присвоєно значення 0 – якщо, це границя фону, 1 – границя об'єкту. Загальна схема представлення на рисунку 3.

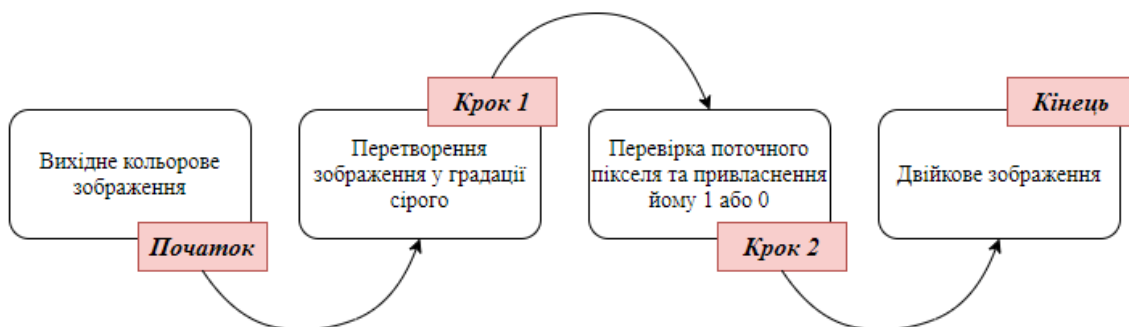


Рис. 3. Загальна схема бінаризації

Порівняння пікселя з пороговим значенням не є основною проблемою, найважливіше це його визначення. Існує багато різних методів локальної бінаризації, розглянемо деякі з них:

1. Метод Ніблека. Кожному пікселю присвоюється своє порогове значення. Його величина визначається на основі локального середнього та локального середньоквадратичного відхилення. Цей метод використовується для зображень з високою контрастністю, на яких практично відсутня наявність шумів, що не підходить для нашого випадку [2, с.5].
2. Метод Саувола. Локальний поріг яскравості визначається шляхом проходження по всьому зображенню вікна. Його значення отримується за допомогою формули: $t(x, y) = m(x, y)[1 + k(\frac{s(x, y)}{R-1})]$, де $m(x, y)$ – середнє значення інтенсивності пікселів, $s(x, y)$ – середньоквадратичне відхилення інтенсивності пікселів, R – це максимальне відхилення ($R=128$ для зображення у сірих відтінках), k – параметр, який приймає значення в діапазоні від 0,2 до 0,5. У цьому методі використовується інтегральне зображення, яке представляє собою зображення, у якого значення пікселів визначається сумою всіх пікселів, що знаходять вище та лівіше позиції у оригінальному документі. Це дозволяє виконувати обробку швидко завдяки тому, що одного разу визначивши інтегральне зображення, існує можливість визначення значення будь-якого пікселя у прямокутній області. Метод Саувола широко використовується з рисунками, у яких яскравість розподілена нерівномірно. Він погано працює з тонкими лініями, які перетинаються, що робить його непридатним для нашого випадку [2, с. 5].
3. Метод Крістіана
Цей метод гарно працює з тонкими лініями, які можуть перетинатися, проте він має меншу продуктивність ніж усі вище представленні, коли на зображенні присутні помітні зміни фонових

значень сірого на всій ілюстрації. Метод Крістіана працює схожим чином із методом Саувола, проте він дещо модернізував формулу визначення порогу. Алгоритм полягає у визначенні порогового значення нормалізуючи контраст та шумі зображення наступним чином: $T = (1 - k) * m + k * M + k * \left(\frac{S}{R}\right) * (m - M)$, де $k = 0.5$, M – мінімальне середнє значення всього зображення та R максимальне значення середньоквадратичного відхилення сірого значення з локального вікна, яке розраховується з гістограми [2, с. 6].

4. Метод Бредлі-Рота. Даний метод є найкращим варіантом для використання у нашій програмі, тому що він має просту реалізацію, є швидким, гарно працює з тонкими лініями та не потребує підбору параметрів для схожих зображень, що актуально для нашого випадку. Він має погану чутливість до низько-контрастних деталей, проте таким чином можна побачити основний «скелет» спіралі, що допоможе краще побачити товщину ліній та есенціальний тремор. Він також використовує інтегральне зображення [4, с.1]. Ми розбиваємо зображення на декілька областей зі стороною d , знаходимо середнє від суми значення кожного пікселя lm у нашому вікні, додаємо до цього порогове значення та порівнюємо його з кожним пікселем. $lm + d$ – це величина, що ми шукаємо, для нашого зображення ми використовуємо d та t відповідно рівну $\frac{1}{4}$ та 5% від середнього значення яскравості в області [3].

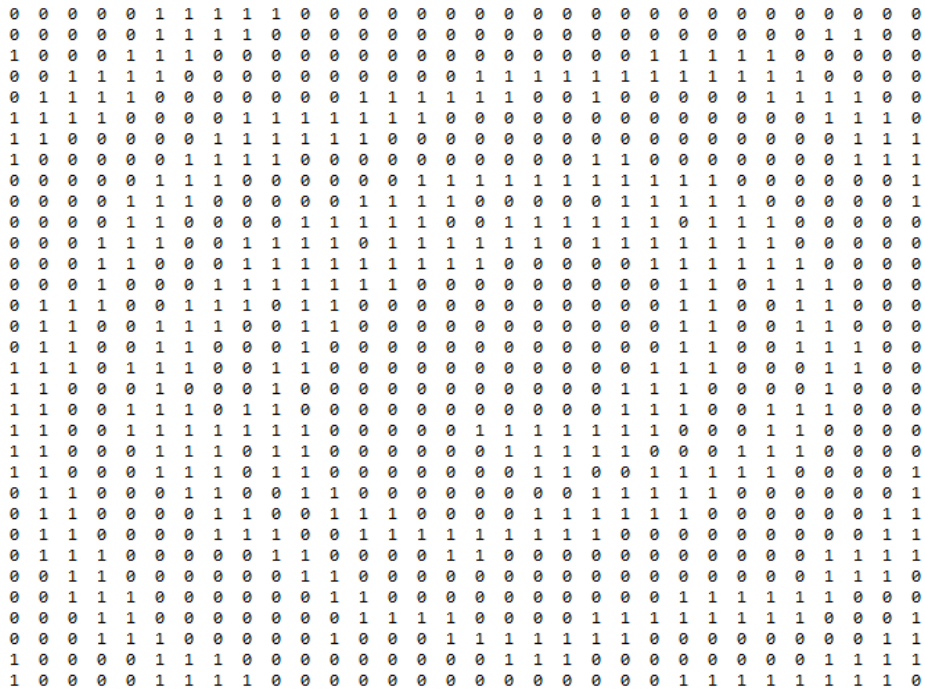


Рис. 4. Частина зображення обробленого методом Бредлі-Рота

На рисунку 4 продемонстровано частину зображення, яке ми обробили методом Бредлі-Рота. Кожне число відповідає пікселю: 0 – це піксель фону, 1 – спіралі. Через погану якість та маленький розмір на спіралі присутні шуми. Їхня кількість невелика, що дозволяє продовжити обробку. Фільтр допоможе позбутися від шумів та вирішити цю проблему.

Крок 2. На даному етапі необхідно знайти кінці ліній та розриви у них. Проаналізувавши всі пікселі, було зроблено висновок, що піксель, який знаходиться на кінці спіралі, має відносно більшу кількість пікселів фону. Визначення кінців відбувається за допомогою виконання наступного алгоритму. Спочатку необхідно створити два масиви однакового розміру: один з бітовими пікселями зображення, інший – з нульовими значеннями. Масив, що заповнений нульовими значеннями, має використовуватися для подальшого заповнення кількістю пікселів фону, які знаходяться навколо кожного пікселя спіралі. Далі, треба обробити кожен піксель масиву, який заповнений бітовими пікселями зображення. Якщо його значення рівне 1- це піксель спіралі. Далі, потрібно вирізати вікно з одиничним радіусом та

порахувати у вікні кількість пікселів, які рівні 0. Після чого, записати це значення у відповідний сегмент масиву з нульовими значеннями, що буде відповідає розміщенню пікселя на зображенні. Таким чином ми отримали масив із значеннями кількості фонових пікселів для всіх пікселів спіралі.

Далі необхідно знайти максимальне значення масиву в якому знаходиться інформація про кількість фонових пікселів навколо пікселів спіралі. Пікселі, яким буде відповідати максимальне значення, відносяться до категорії можливих кінців спіралі. Виконавши всі перераховані кроки, ми отримуємо результатом для нашого зображення(рис.4) максимальне число рівне 7(рис.5), але кінець спіралі має навколо себе 6 пікселів фону(рис.6).

```
1 1 0 0 0 0
0 1 1 0 0 0
0 0 1 1 0 0
0 0 0 1 1 1
0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0
1 1 1 1 1 1
```

Рис. 5. Піксель з максимальною кількістю фонових пікселів

```
0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1
0 0 0 1 1 1
0 0 0 0 1 1
0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1
```

Рис. 6. Кінець спіралі

Отже, ми можемо зробити висновок, що кінець спіралі може мати не тільки максимальну кількість пікселів фону навколо себе, а також максимум мінус 1. Координати таких пікселів записуємо для зручності у масив.

Наступним є визначення безпосередньо кінців спіралі, адже виявляється, що кількість пікселів, які ми вважаємо кінцями, досить велика. Проаналізувавши околиці можливих кандидатів(рис. 7) ми бачимо,

що ті, які не є кінцями, мають між собою спільну рису. Вони належать до ліній товщиною в один піксель, на парній кількості границь.

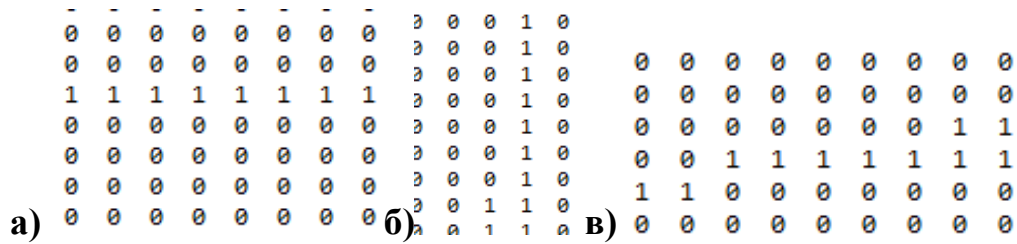


Рис. 7. Околиці кандидатів

Отже, для того аби позбутися від хибних точок необхідно, для кожного кандидату в кінець спіралі вирізати вікно з одиничним радіусом із масиву де зберігається бітові пікселі зображення. У вікні зробити наступну перевірку:

- якщо піксель має горизонтально зверху та знизу значення 0, а сума стовпчиків зліва та справа більша 0, то такий піксель не може бути кінцем спіралі;
- якщо піксель має вертикально зліва та справа значення 0, а сума рядків зверху та знизу більша 0, то такий піксель не може бути кінцем.

Таким чином, позбавляємося від помилкових кінців.

Крок 3. Далі нам необхідно побудувати послідовності за допомогою якої буде зрозуміло яким чином була намальована спіраль, тобто ми отримуємо послідовність пікселів для подальшої їх обробки. Створення такої послідовності повинно починатися з визначення початку. Так як, початком вважається кінець, який знаходить у середині спіралі, для його визначення необхідно зайти кандидата, який знаходиться найближче до центру зображення.

Отже, після визначення початку, ми можемо починати будувати послідовність. Необхідно створити динамічний масив, який буде зберігати послідовність пікселів, а точніше їхні координати. В першу чергу записуємо координати початку у цей масив та знаходимо його сусідів у

масиві з бітовими пікселями зображення, що мають значення 1, та послідовно записуємо їх у динамічний масив. Далі, розділяємо зображення на 2 сегменти (рис.8.) відносно початку спіралі. Зелена ліній на рисунку 8 - це лінію поділу спіралі на сегменти 1 та 2.

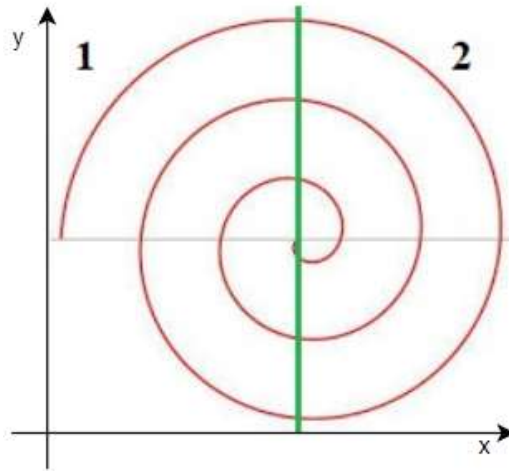


Рис. 8. Спіраль поділена на сегменти

Розділення необхідне для формування правильної послідовності. Шукаючи сусідів певного пікселя, в першу чергу необхідно віднести його до одного з сегментів. Ми вже знаємо координати початку (x_1, y_1) , а отже порівнюючи їх з координатами пікселя, який обробляється (x_2, y_2) , можемо визначити до якого сегменту він відноситься наступним чином:

- якщо x_2 менше x_1 , то піксель відповідає сегменту 2;
- якщо x_2 більше x_1 , то піксель відповідає сегменту 1.

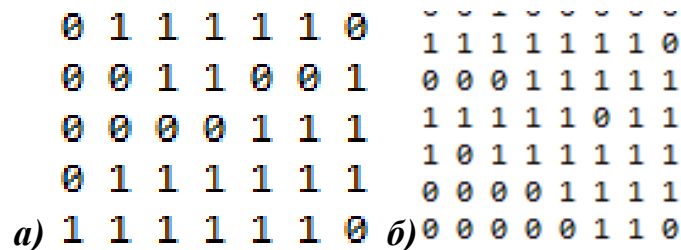


Рис. 9. Місця перетинання витків: а) перетин між пікселями по діагоналі, б) перетин між пікселями по вертикалі та горизонталі

Після визначення відповідності пікселя одному з сегментів, ми переходимо до обробки його сусідів. Так як, витки спіралі можуть

перетинатися (рис.9.) необхідно визначати, до якого з витків відноситься конкретний піксель.

Для запобігання випадку на рисунку 9а можна обробляти сусідів тільки на горизонталі або вертикалі, не обробляючи діагональ, якщо такі сусіди існують у пікселя. Таким чином, ми запобігаємо переходу на піксель з сусіднього витка. Ми бачимо з рисунка 8, що наша спіраль закручується за годинниковою стрілкою, тому:

- для сегмента №1 обробляємо пікселі в такій послідовності: верхній, лівий, нижній, правий, якщо таких немає то верхній-лівий, нижній-лівий, нижній-правий, верхній-правий;
- для сегмента №2: нижній, правий, верхній, лівий, якщо немає: нижній-правий, верхній-правий, верхній-лівий, нижній-лівий.

Якщо спіраль закручується проти годинникової стрілки то:

- для сегмента №1: нижній, лівий, верхній, правий, якщо немає: нижній-лівий, верхній-лівий, верхній-правий, нижній правий;
- для сегмента №2: верхній, правий, нижній, лівий, якщо немає верхній-правий, нижній-правий, нижній-лівий, верхній-лівий.

Коли значення сусіднього пікселя рівне 1, його записуємо до динамічного масиву, а піксель, який вже був оброблений, видаляється з масиву де знаходяться бітові значення зображення.

Проте, можливий випадок (рис.10.), коли навіть за наявності горизонтальний або вертикальних сусідів необхідно перейти за діагоналлю.



Рис. 10. Сусідні пікселі з одного витка

Алгоритм не може обробити такий випадок, тому що не буде знати куди йому рухатися далі. Отже, коли неможливо знайти жодного сусіда на горизонталі або вертикалі, ми починаючи з останнього пікселя динамічного масиву, який зберігає послідовність пікселів, обробляємо сусідів по діагоналі (так як було вказано вище).

Для запобігання випадку на рисунку 9б, ми будемо визначати відстань на якій знаходяться сусідні пікселі. Перед тим, як додати новий піксель до динамічного масиву необхідно отримати координати останнього пікселя з цього масиву та визначити відстань між ними. Далі, виконуються наступні кроки:

- якщо вони знаходяться на одній лінії, то коли відстань більше 2 піксель не додається;
- якщо знаходять не на одній ліній, то відстань визначається за формулою пошуку гіпотенузи, так як нам відомі розміри двох катетів, коли вона більше 3 то піксель не додається.

Крок 4. Після формування послідовності необхідно кожену k -ту точку спіралі представити у вигляді комплексного числа, яке представляє з себе добуток двох інших комплексних чисел: $(k - 1)$ -ої точки та деякого коефіцієнта $Z[k - 1] = Z[k - 1] * C$, де Z – це масив заповнений бітовими значеннями зображення, C – коефіцієнт [5, с.9].

У випадку «ідеальної» спіралі цей коефіцієнт має бути константою, проте для реальних зображень, таке неможливо. Він буде постійно змінюватися для кожної пари точок: $C[k] = \frac{Z[k]}{Z[k-1]}$.

Основна задача полягає у представленні цього коефіцієнта як комплексного (комплексно-значного) сигналу та опису методу його аналізу (як функції часу). Також, необхідно встановити границі, у діапазоні яких, цей коефіцієнт може змінюватися (рис.11).

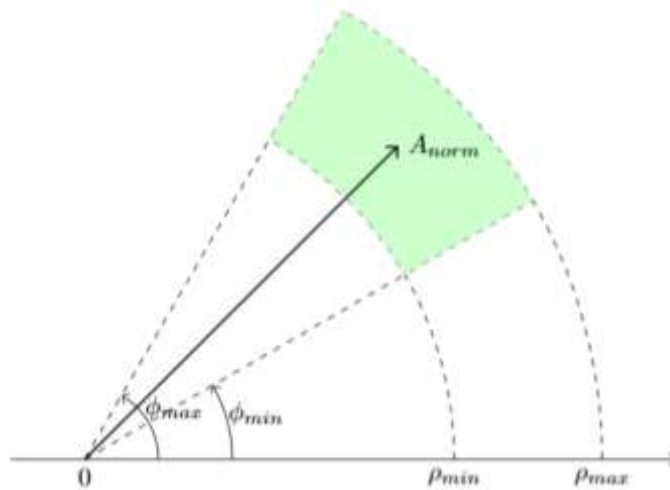


Рис. 11. Границі зміни коефіцієнту

Для того, щоб отримати послідовність значень коефіцієнтів, по індукції, необхідно визначити опорну, першу точку. Такою точкою не може бути початок спіралі, тому що він має нульові комплексні координати та не може використовуватися у якості множника.

Якщо провести луч від точки початку спіралі (всередині) до точки кінця спіралі (зовні), то він перетне спіраль стільки разів, скільки спіраль має витків. У якості опорної точки можна обрати точку цього проміння, яка належить першому витку. Тоді, кожна наступна точка може бути використана для визначення поточного значення коефіцієнту. Під час аналізу першого витка, щоб не втратити його сигнал охарактеризувати поведінку коефіцієнту як $Z[k - 1] = Z[k - 1] * C$.

Крок 5. Після виконання всіх дій, які були представлені, можна побачити яким чином змінюється коефіцієнт та зробити висновки, щодо наявності хвороби. Коли він виходить за встановлені межі, то це означає що у людини, яка виконувала діагностичний тест, присутня хвороба Паркінсона. Також після обробки деякої кількості оцифрованих зображень спіралі декількох хворих, можна виявити закономірність між стадією захворювання та силою відхилення коефіцієнта від норми.

Висновки. Оскільки зараз головною проблемою у лікуванні хвороби Паркінсона є саме виявлення її на ранніх стадіях, то використання такого алгоритму допоможе вирішити цю проблему.

Діагностичні тести, які використовуються у наш час, дозволяють виявляти хворобу тільки в присутності лікаря-невропатолога. Проте не всі помічають перші симптоми на ранніх стадіях або відвідують лікарню задля перевірки стану свого здоров'я. Також, у групі ризику знаходяться люди похилого віку, яким важко постійно відвідувати лікарів та слідкувати за прогресуванням хвороби.

Таким чином, дистанційна діагностика дозволить протестувати більшу кількість людей та допомогти лікарям під час постановки діагнозу або контролю пацієнтів, які вже мають діагноз. Розроблений алгоритм допоможе будь-кому, хто має у себе смартфон, пройти діагностичний тест та визначити можливість наявних проблем зі здоров'ям.

Література

1. Хвороба Паркінсона. 2018. URL: <https://www.msdmanuals.com/ru/>.
2. Исрафилов Х.С. Исследование методов бинаризации изображения / Х.С. Исрафилов // Журнал «Вестник науки и образования» Россия. 2017. №6(30). Том 2. С.43-50.
3. Бинаризация изображения: алгоритм Брэдли. 2016. URL: <https://habr.com/ru/post/278435/>.
4. Макаров А.О. Быстрая обработка изображения на основе интегральных матриц изображений / А.О. Макаров, В.В. Старовойтов // Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект» Украина. 2006. №3. С. 597-602.
5. Комплексні числа / В.М. Паскаленко, І.В. Стрелковська, А.В. Шкуліпа. 2004. С. 9.

6. Архимедова спираль. 2011. URL: <http://hijos.ru/2011/03/09/архимедова-спираль/>.
7. Тремор при болезни Паркинсона и эссенциальном треморе: Практические аспекты дифференциальной диагностики / Н.В. Титов, Ю.Н. Бездольный, И.В. Штучный, Д.А. Сибецкий // Научно-практический журнал для врачей «Медицинский совет» Россия. 2019. №9. С. 46-54.