

ЗВІТ
про результати проекту
«Вплив класичної музики на роботу серця у
пацієнтів різної вікової категорії»
з курсу «Обробка сигналів»

Підготувала
студентка 3-го курсу
Кузів Васирина

Опис експерименту та даних, результати ЕДА

Основою проекту є база даних [“Фантазія”](#), яка містить дані двадцяти молодих (21 - 34 роки) та двадцяти літніх (68 - 85 років), суворо обстежених здорових суб'єктів, які перебували 120 хвилин у безперервному спокої в положенні лежачи на спині під час електрокардіографії (ЕКГ). У деяких пацієнтів також були зібрані сигнали дихання.

Електрокардіографія (скорочено ЕКГ) — метод графічної реєстрації електричних явищ, які виникають у серцевому м'язі під час його діяльності, з поверхні тіла. Криву, яка відображає електричну активність серця, називають електрокардіограмою (ЕКГ). Таким чином, ЕКГ — це запис коливань різниці потенціалів, які виникають у серці під час його збудження.

Електрокардіографія є одним з основних методів дослідження серця і діагностики захворювань серцево-судинної системи.

Під час перегляду фільму «Фантазія» (Дісней, 1940) всі суб'єкти залишались у стані спокою в синусовому ритмі, що допомагало підтримувати неспання. Безперервні ЕКГ, сигнали дихання та (за наявності) артеріального тиску оцифровували при частоті 250 Гц. Кожне серцебиття було анотовано за допомогою автоматизованого алгоритму виявлення аритмії, а кожна анотація ударів перевірена візуальним оглядом. Записи f1y01, f1y02, ... f1y10 і f2y01, f2y02, ... f2y10) були отримані від молодшої когорти, а записи f1o01, f1o02, ... f1o10 і f2o01, f2o02, ... f2o10) були отримані від людей старшого віку. Кожна група предметів включає однакову кількість чоловіків і жінок.

Усі дані для кожного пацієнта збережені у трьох файлах з розширеннями dat, esg і hea. Тривалість сигналів не однакова, найкоротший сигнал містить 1558559 записів, найдовший - 2342527. Тому було прийнято рішення не аналізувати дві останні композиції через відсутність даних у деяких пацієнтів.

"Фантазія"(1940р.) - музичний мультфільм і третій класичний мультфільм Уолта Діснея. Картина утворена дев'ятьма незалежними номерами, музику до яких виконав Оркестр Філадельфії під керівництвом Леопольда Стоковського. Кожна з дев'яти частин фільму зроблена у своєму стилі та не залежить від сюжету.

Опис задач, які можна вирішувати з використанням таких даних

Моніторинг дихання за допомогою електрокардіограми (ЕКГ) потрібний для одночасного вивчення серцевої діяльності та дихання. У роботі [1] пропонується новий підхід для визначення дихання

від однопровідного ЕКГ на основі повторного перетворення Гільберта (ІНТ) та вібраційного розкладання Гільберта (HVD). Сигнал ЕКГ спочатку розкладається на багатокомпонентні синусоїдальні сигнали за допомогою методики ІНТ. Потім компоненти амплітуди нижчого порядку, отримані з ІНТ, фільтруються за допомогою HVD для вилучення інформації про дихання. У експериментах, проведених на різних суб'єктах вікової групи набору даних Fantasia, запропонований алгоритм забезпечив ефективні результати для молодшого населення, але перевершив існуючі методики у випадку з людьми похилого віку.

Інша задача, яку можна вирішити з використанням даних “Фантазія” - автоматизоване виявлення комплексу QRS на базі оператора енергетичного управління

У цьому дослідженні запропоновано алгоритм автоматичного виявлення комплексу QRS на сигналі ЕКГ. Метод заснований на енергетичному операторі Teager (ТЕО), який полегшує виявлення базового порогу та витягує комплекс QRS із сигналу ЕКГ. Тестування застосованого методу в базі даних Fantasia показало наступні результати: чутливість (Se) = 99,971%, позитивне прогнозування ($P +$) = 99,973%, коефіцієнт помилок виявлення (DER) = 0,056% та точність (Acc) = 99,944%. Незважаючи на близькість зареєстрованих піків, що створює обмеження у виявленні двох послідовних комплексів QRS, запропонований метод, застосовуючи лише 4 прості та швидкі кроки, ефективно та надійно виявив комплекси QRS, що робить його придатним для практичних цілей та додатків.

Застійна серцева недостатність (CHF) - це хронічний стан серця, пов'язаний із виснажливими симптомами, що призводить до збільшення смертності, захворюваності, витрат на охорону здоров'я та зниження якості життя. Електрокардіограма (ЕКГ) - це неінвазивний і простий метод діагностики, який може продемонструвати виявлені зміни CHF. Однак ручна діагностика ЕКГ-сигналу часто піддається помилкам через малу амплітуду та тривалість ЕКГ-сигналів, і окремо не є ні чутливою, ні специфічною для діагностики CHF. Автоматизована система може підвищити об'єктивність діагностики та надійність сигналів ЕКГ при CHF. У дослідженні [3] представлено 11-шарову модель глибокої згорткової нейронної мережі (CNN) для діагностики CHF. Ця запропонована модель CNN вимагає мінімальної попередньої обробки сигналів ЕКГ, і ніяких розроблених характеристик або класифікації не потрібно. Запропонована модель CNN може бути застосована на практиці та служити діагностичним допоміжним засобом для кардіологів, забезпечуючи більш об'єктивну та швидшу інтерпретацію сигналів ЕКГ.

Коливання серцевого ритму демонструють часову структуру з надійними дальніми кореляціями, фрактальними та нелінійними особливостями, які, як було встановлено, порушуються з патологічними станами, що відображає зміни в механізмі нейроавтономного контролю. Існує гіпотеза, що ці особливості змінюються і навіть руйнуються також із похилим віком, що передбачає фундаментальні зміни в серцевому контролі зі старінням. У наступному дослідженні перевіряють цю гіпотезу. Кількісно визначають: 1) середній пульс ($\langle R-R \rangle$); 2) $SD \sigma R-R$ та $\sigma \Delta R-R$ інтервалів серцевих скорочень $R-R$ та їх прирости $\Delta R-R$; 3) далекобійні кореляції в $R-R$, виміряні за допомогою масштабного показника $\alpha R-R$ за допомогою аналізу відхилених коливань; 4) фрактальні лінійні та нелінійні властивості, представлені масштабними показниками α_{sgn} та α_{mag} для часових рядів знаку та величини $\Delta R-R$; та 5) нелінійна фрактальна розмірність $D(k) R-R$ з використанням аналізу фрактальної розмірності.

Отримані результати не підтверджують гіпотезу про те, що фрактальні лінійні та нелінійні характеристики динаміки серцебиття руйнуються з похилим віком у здорових суб'єктів. Незважаючи на те, що результати справді показують зниження SD коливань серцебиття з похилим віком, властиві тимчасовій фрактальній та нелінійній організації цих коливань залишаються стабільними. Це вказує на те, що зв'язаний каскад нелінійних циклів зворотного зв'язку, які, як вважають, лежать в основі серцево-нейроавтономної регуляції, залишається незмінним з похилим віком.

Мету і задачі проекту

Метою цього дослідження було дослідити вплив класичної музики на ритм серцебиття пацієнтів різної вікової категорії.

Задачі:

- Попередня обробка та аналіз доступних даних
- Визначення ритму серцебиття
- Визначення ритму музичних творів
- Аналіз окремих музичних творів
- Визначення кореляції між ритмом музичних творів та серцебиття
- Створення порівняльної статистики

В процесі роботи кожену задачу було розбито на окремі підзадачі.

Огляд літератури з існуючих підходів та рішень

У роботі[8] досліджують вплив музики на живе тіло, порівнюючи різницю впливу на варіабельність та комфорт серцевого ритму, коли випробовувані слухають музику та перебувають у шумі. Автори використовували два твори класичної музики, рок-музику та шум, записані магнітофоном. З результатів дослідження були зроблені наступні висновки:

- 1) Слухання класичної музики призводить до невеликої дисперсії компонентів синусової аритмії (MWSA - Mayer Wave related Sinus Arrhythmia) та компонента дихальної синусової аритмії (RSA) порівняно з тілом, яке перебуває в стані спокою.
- 2) З психологічної оцінки було виявлено, що класична музика, як правило, викликає комфорт, а рок-музика та шум викликають дискомфорт.
- 3) Виявлено кореляцію між балансом компоненти MWSA та компоненти RSA та психологічною оцінкою. Зі збільшенням комфорту дисперсія MWSA зменшується; із збільшенням дискомфорту дисперсія MWSA збільшується.

Попередні дослідження показують, що темп є однією з найважливіших детермінант музичного ефекту збудження та розслаблення. У дослідженні [9] аналізують специфічний вплив темпу музики, а також в цілому вплив музики на частоту серцевих скорочень людини. Автори зробили заміри пульсу 32 учасників у цілковитій тиші, а потім відтворили їм неголосну, навколишню музику в темпі, що відповідає частоті їхніх серцевих скорочень. Тоді знову відтворили ту саму музику з темпом збільшеним або зменшеним на 45%, 30%

або 15%. Тести ANOVA виявили значне збільшення частоти серцевих скорочень під час прослуховування музики порівняно з тишею ($p < .05$). Крім того, значне зниження темпу (-45% або -30%) може спричинити подальші зниження частоти серцевих скорочень ($p < .05$). Не виявлено зв'язку між збільшенням темпу (+ 15%, + 30% та + 45%) та зміною частоти серцевих скорочень, а також незначними зниженнями (-15%). Крім того, не було виявлено ані впливу статі, ані музичного тренування, ані музичних уподобань. Це свідчить про те, що під час пасивного прослуховування музики, музика справляє загальне збудження на серцебиття людини, що може регулюватися темпом.

Одна з найважливіших задач – аналіз аудіо-файлів та обчислення їх ритму. Дискретне вейвлет-перетворення (ДВП) - це перетворення, яке може бути використано для аналізу часових та спектральних властивостей нестационарних сигналів, таких як звук. У роботі [5] описано деякі застосування ДВП до проблеми вилучення інформації з безмовного звуку.

Також у цій роботі запропонований алгоритм обрахунку темпу, заснований на виявленні найбільш помітної періодичності сигналу. Сигнал спочатку розкладається на кількість частотних смуг октави за допомогою ДВП. Застосовується фільтр низьких частот, потім випрямляч з нульовим виводом трансформатора і децимація. Після цього нормалізація в кожній смузі та автокореляція.

Обраний підхід, його обґрунтування

Обраний підхід: розділити сигнали ЕКГ за часовими рамками відповідно до тривалості музичних творів. Визначити ритм серцебиття кожного пацієнта на окремій композиції. Проаналізувати музичні твори : обчислити їх темп та дослідити інші їх характеристики. Дослідити, чи існує кореляція між результатами попередніх кроків.

Серцевий ритм, частота серцевих скорочень – це одна з основних характеристик роботи серця та важлива характеристика фізіологічного стану організму. Зазвичай розраховується як число скорочень серця за хвилину та виражається в числі ударів за хвилину.

Музичний темп – міра швидкості в музиці(кількість ударів в одиниці часу).

Частота чергування долей і тактів, визначається смисловим змістом в музиці; ступінь швидкості виконання як правило вказується на початку музичного твору.

Оскільки серцевий ритм та музичний темп, це характеристики, які описують однакові особливості сигналів, то було прийнято рішення аналізувати саме їх. Так можна точніше прослідкувати вплив музичних творів на роботу серця.

Постановка власного експерименту

Перша частина проекту – визначення ритму серцебиття кожного пацієнта. Це завдання можна поділити на такі частини:

- Знаходження RR-інтервалів(міжбітових інтервалів);
- Обчислення варіабельності серцевого ритму(HRV)

Оскільки всі сигнали ЕКГ були анатовані, то у нас уже є дані про R-піки, тобто виконана перша частина задачі. Для розрахунку HRV знадобилося визначити тривалість кожного сигналу у відповідності до музичного твору та визначити R-піки, які відповідають цій ділянці сигналу.

Наступна частина – процесинг аудіо-файлів. Для початку будемо графік сигналу та спектрограму, яка показує залежність спектральної густини потужності сигналу від часу.

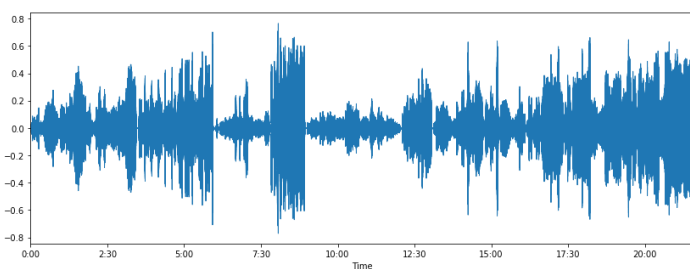


Рисунок 1а. Чайковський. Графік сигналу

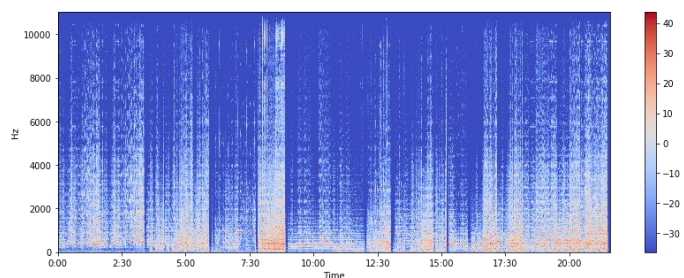


Рисунок 1б. Чайковський. Спектрограма

Розглянемо інші спектральні (частотні) ознаки шляхом перетворення сигналу в частотну область за допомогою перетворення Фур'є, а саме: частоту основного тону, частотні компоненти, спектральний центроїд, спектральний потік, спектральна густину, спектральний спад і т.д.

Спектральний центроїд вказує, на якій частоті зосереджена енергія спектра або, іншими словами, вказує, де розташований "центр мас" для звуку.

Спектральний спад - це міра форми сигналу, що представляє собою частоту, в якій високі частоти знижуються до 0. Щоб отримати її, потрібно

розрахувати частку елементів у спектрі потужності, де 85% її потужності знаходиться на більш низьких частотах.

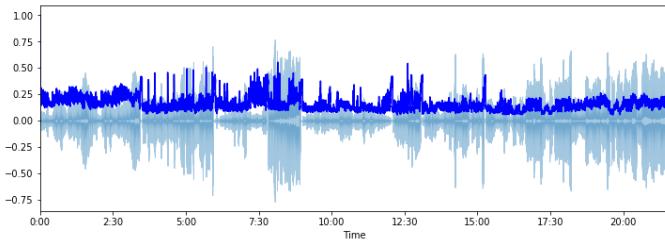


Рисунок 2. Спектральний центроїд

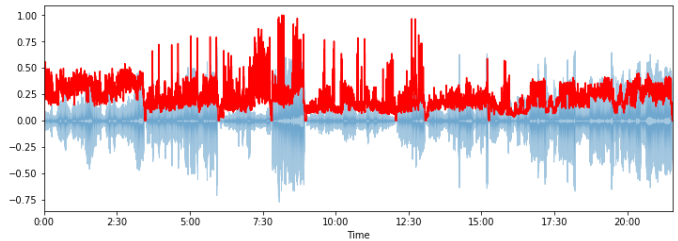


Рисунок 3. Спектральний спад

Ознака або вектор кольоровості зазвичай представлений вектором ознак з 12 елементів, у якому вказано кількість енергії кожного висотного класу {C, C #, D, D #, E, ..., B} у сигналах.

Використовується для опису міри схожості між музичними творами.

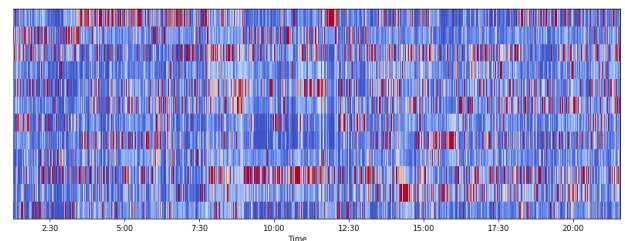


Рисунок 4. Кольоровість

Розрахунок темпу

Виявлення ударів - це автоматичне вилучення ритмічного пульсу з музичних сигналів. У цій роботі використано алгоритм, заснований на ДВП(DWT - Discrete Wavelet Transform).

Спочатку виконуємо випрямлення - тип спотворення, коли негативні значення амплітуди сигналу спотворюються різними способами. Використовуємо повнохвильове випрямлення, де негативні значення амплітуди змінюються на однакові позитивні значення. Далі застосовуємо децимацію для зменшення частоти дискретизації шляхом проріджування відліків сигналу та нормалізуємо кожну смугу. Вкінці виконуємо

автокореляцію за формулою:

$$y[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n]x[n+k]$$

Результати, їх статистичний аналіз та власна інтерпретація

За результатами першої частини проекту, а саме ритмом серцебиття кожного пацієнта на окремих музичних творах, можна зробити такі висновки:

Найвищий середній ритм серцебиття усіх пацієнтів спостерігається під час композиції Баха, найнижчий - під час композиції Понк'єллі.

На композицію Дукаса та саундтрек пацієнти реагують приблизно однаково ще й з меншим значенням порівняно з іншими творами. А під час музики Чайковського бачимо більший розкид значень, тобто пацієнти сприймали саму пісню по-різному, що відобразилося на їхньому серцебитті.

Середній ритм серцебиття усіх пацієнтів

Bach	61.385366
Tchaikovsky	60.259239
Dukas	59.235484
Stravinsky	59.075658
Soundtrack	58.368526
Beethoven	58.382543
Ponchielli	58.514749

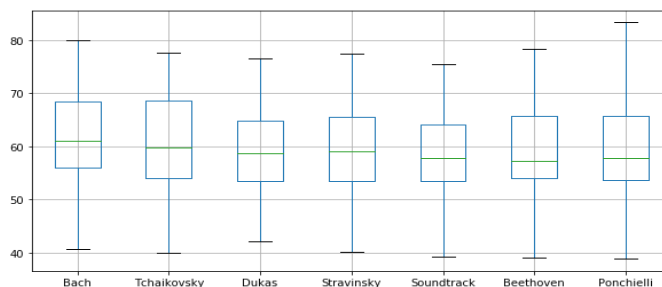


Рисунок 5. Ритм серцебиття на різних творах

Якщо ми обчислимо середнє значення, то також бачимо, що є помітна різниця між роботою серця молодших та старших пацієнтів. Проте в загальному можна сказати, що обидві кагорти пацієнтів приблизно однаково реагують на одні і ті ж твори (за винятком твору Стравінського).

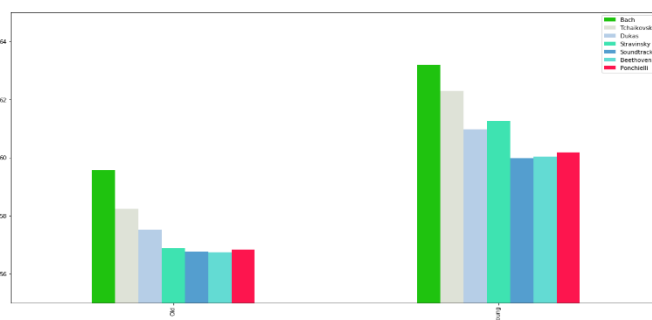


Рисунок 6. Середній ритм серцебиття у старших та молодших пацієнтів.

Виконавши аналіз аудіосигналів, обчисливши їхній темп та нормалізувавши всі дані, отримали такі результати:

Твір	Темп
Bach	109
Tchaikovsky	123
Dukas	111
Stravinsky	106
Soundtrack	128
Beethoven	93
Ponchielli	117

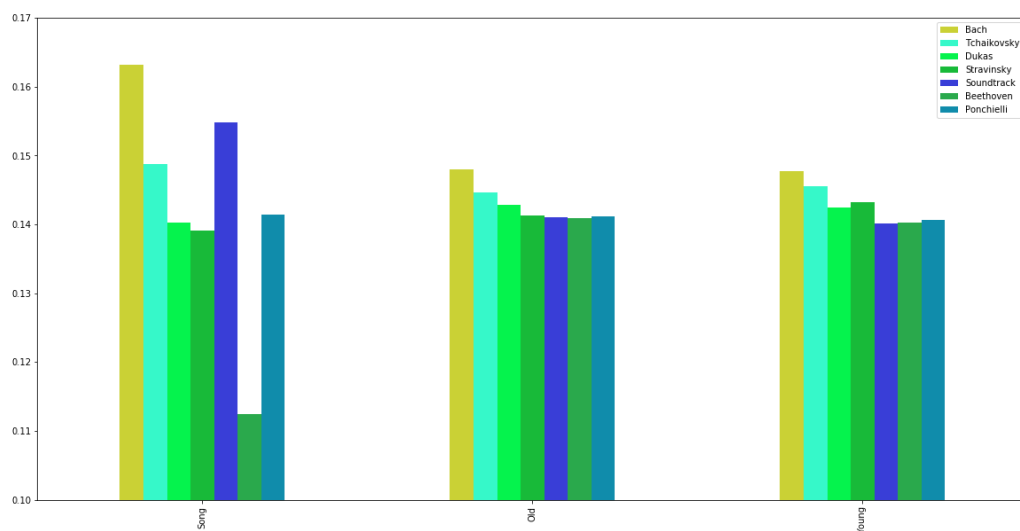


Рисунок 7. Порівняння темпу пісень та ритму серцебиття

Можна побачити, що існує кореляція між темпом музичних творів, крім саундтреку та твору Бетховена, та ритмом серцебиття обидвох груп обстежуваних суб'єктів.

Спостерігаємо яскраво виражену різницю між темпом саундтреку та серцебиттям пацієнтів на цьому відрізку. Це може відбуватися тому, що саундтрек – це особлива частина мультфільму, яка програватиметься з швидким темпом, але супроводжується коментарями диктора.

Отже, можна зробити висновок, темп музичних творів все ж таки впливає на роботу серця: чим швидший темп, тим більша частота серцебиття.

Можливі напрямки подальших досліджень в цій або суміжних областях

По – перше, з доступних нам даних можна дізнатися не лише ритм серцебиття, але й частоту дихання. Для кожного пацієнта є сигнали дихання. Крім того, у деяких обстежуваних є записи про артеріальний тиск. Можна провести аналогічне дослідження, використовуючи ці дані.

По – друге, варто розглянути інші характеристики музичних творів, наприклад гучність та ритм. Важливо зауважити, що ритм та темп – це різні характеристики музичного твору. Ритм – співвідношення тривалості звуків(нот) в послідовності. Цікаво дослідити, чи впливає гучність музики на швидкість серцебиття.

По-третє, оскільки обстежувані суб'єкти не просто слухали музику, а дивилися мультфільм, то варто проаналізувати графіку мультфільму. Крім того, усі частини не пов'язані між собою, тобто кожен твій має свою унікальну візуалізацію. Тому аналіз зображень може дати цікаві результати.

Література

- [1] [ECG-derived respiration based on iterated Hilbert transform and Hilbert vibration decomposition](#)
- [2] [Real-time estimation of the ECG-derived respiration \(EDR\) signal using a new algorithm for baseline wander noise removal](#)
- [3] [Deep convolutional neural network for the automated diagnosis of congestive heart failure using ECG signals](#)
- [4] [Fractal scaleinvariant and nonlinear properties of cardiac dynamics remain stable with advanced age: a new mechanistic picture of cardiac control in healthy elderly](#)
- [5] [Audio Analysis using the Discrete Wavelet Transform](#)
- [6] [Automatic mood detection and tracking of music audio signals](#)
- [7] [Fundamentals of Music Processing: Audio, Analysis, Algorithms, Applications](#)
- [8] [Influence of music on heart ratevariability and comfort](#)
- [9] [Adopting a music-to-heart rate alignment strategy to measure the impact of music and its tempo on human heart rate](#)