

# Більш бажані варіанти текстового рядка на основі PhLADiPreLiO з використанням Haskell — базові ідеї

Олександр Сергійович Жабенко

15 червня 2023 р.

Автор та розробник ПЗ: Олександр Сергійович Жабенко  
Ліцензія: MIT  
Copyright (c) 2020-2023 Oleksandr Zhabenko

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.

## **Анотація**

У роботі запропоновано оригінальний підхід до завдання побудови текстів з заданими фонетичними властивостями, який дозволяє ефективно та швидко працювати над задачею, пропонуючи цікаві рішення як у змістовній, так і в інженерній площинах. Побудовано елементи теорії, яка проілюстрована використанням програм мовою Haskell для значного прискорення необхідних обчислень.

## **Ключові слова**

Фонетичні мови; просодичні мови; фонетика; просодія; склади; ритм; метр; віршування; текст; когерентні стани; склад-як-одне-ціле (SaaW); фонетичне-явище-як-одне-ціле (PhoPaaW); Haskell; підхід фонетичних мов до відкриття більш бажаних варіантів рядка (phonetic languages approach to discovering preferred line options – PhLADiPreLiO – phladiprelio – читається "фладіпреліо", з наголосом на передостанньому складі).

# Вступ

## Постановка задачі

Об'єктом дослідження є різні існуючі та потенційні нові людські мови, а також музика.

Предметом дослідження є способи створення (зміни) текстів та послідовностей, які дозволяють отримувати такі, що краще відповідають критеріям, які будуються на звучанні, зокрема більш ритмічні, милозвучні, складніші чи простіші для вимови, більш фонетично виразні тощо.

Основним методом дослідження є математичне моделювання та комп'ютерне програмування з використанням запропонованих моделей.

Основу дослідження виконано для української мови, водночас запропоновано узагальнення для інших мов. Музичні послідовності не вивчалися практично, але отримані результати можуть бути перенесені на них з урахуванням відмінностей.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення різних текстів, які за формою, фонетичним та просодичним звучанням мають певні властивості, наприклад, більш чи менш ритмічні, краще придатні для музики, віршування, логопедії та логотерапії тощо.

## Базова ідея

Існують різні мови. У них є різна структура та правила. При цьому існує можливість створити та використовувати (на основі однієї з існуючих широко вживаних та добре розповсюджених мов, зокрема української у цій роботі) "фонетичну" мову, яка краще підходить для поезії та музики. Можливо навіть створити різні варіанти фонетичної мови. Ця робота пропонує створити кілька різних фонетичних мов на основі української.

## Що мається на увазі?

Якщо хтось буде фразу в мові, порушуючи правила граматики чи семантики, то ця помилка видна майстерному мовцю відразу, вона ідентифікується як така майже миттєво. Натомість, якщо звучання фрази має якісь фонетичні особливості, не рахуючи акценти, наприклад, складність вимови чи навпаки легкість, плавність чи стрибкоподібність тощо, то ідентифікувати це як помилку чи щось суттєве можна не відразу або при спеціальній увазі. Можна уявити це, як надання переваги у мові семантиці (смислу, значенню) та граматиці, але меншої ваги фонетиці. Фонетичною називається мова, яка побудована спеціально для підсилення значення та вагомості саме фонетичної складової.

## Фонетична чи просодична мова?

Цікавим є питання, чи називати підхід "фонетичних" чи "просодичних" мов (Gross, б. д.). Але потрібно сказати, що вивчаються власне фонетичні особливості, те, що пов'язане зі звучанням мовлення. Серед них те, що стосується окремих фонетичних явищ у загальному випадку, зокрема фонем

чи навіть палаталізації. Ці питання в загальному не є предметом вивчення просодії як науки, як певної складової фонетики, але є предметом ширшого вивчення фонетики. Більше того, немає жодних обмежень і прив'язки запропонованого підходу до власне складів, що більш характерно саме для предмету вивчення просодії. Узагальнення у пакеті phladiprelío-general-simple можуть бути зроблені і на більш загальні випадки.

Тим не менше, на даному етапі розвитку переважна більшість інформації тут стосується чи прямо пов'язана зі складами та просодією. Тому залишаю назву "фонетичних мов", враховуючи, що просодія є більш конкретизованою галуззю фонетики.

## Етична складова

Запропонований підхід схожий на підхід теорії музики. Так, в музиці серед усіх звуків виділяються музичні, згодом досліджуються консонанси та дисонанси, ще згодом ноти, інтервали, акорди, мелодії, композиція тощо. Є свої рекомендації, але вони не сковують творців, а допомагають. Подібно і запропонований підхід покликаний до подібної допомоги. Його незвичність на перший погляд не може бути підставою для його заперечення.

Для християн, до яких автор відноситься і сам, важливими є слова Мойсея: "Мойсей вийшов і сказав народу слова Господні, і зібрав сімдесят мужів зі старійшин народу і поставив їх біля скинії. І зійшов Господь у хмарі, і говорив з ним, і взяв від Духа, Який на ньому, і дав сімдесятьом мужам старійшинам. І коли спочив на них Дух, вони стали пророкувати, але потім перестали. Двоє з мужів залишилися в стані, одному ім'я Елдад, а другому ім'я Модад; але і на них спочив Дух [вони були з числа записаних, тільки не входили до скинії], і вони пророкували в стані. І прибіг отрок, і доніс Мойсеєві, і сказав: Елдад і Модад пророкують у стані. У відповідь на це Ісус, син Навина, слугитель Мойсея, один із обраних його, сказав: господарю мій Мойсею! заборони їм. Але Мойсей сказав йому: чи не ревнуєш ти за мене? о, якби усі в народі Господньому були пророками, коли б Господь послав Духа Свого на них!" (Числа 11:24-29).

Добре, щоб усі вміли добре писати і говорити.

## Перша ідея

Уявіть, що ви можете розуміти інформацію в тексті незалежно від порядку слів і при збереженні лише найбільш необхідної граматики (наприклад, правило не відокремлювати прийменник та наступне слово збережене). Розуміти точно так само, як читати текст (після деякого навчання та тренування, можливо), в якому у словах збережені на своїх позиціях лише перші та останні літери, а всі решта – взаємно перемішані одна з одною. Отже, уявіть, що ви можете розуміти (і виражати ваші думки, почуття, мотиви тощо) повідомлення тексту без дотримання строгого порядку слів.

У такому випадку ви можете впорядкувати слова (зберігши найбільш необхідну граматику для зменшення чи повного усунення можливої двозначності, зумовленої граматиною, точніше зменшенням її обсягу), розмістивши їх таким чином, щоб вони забезпечили собою більш цікаве фонетичне звучання. Ви можете спробувати створити поетичний (чи принаймні дещо більш ритмічний та виразний) текст чи музику. Це також може бути саме по собі розвивальною вправою, яка надихає. Але як би ви могли швидко знайти, які комбінації більш чи менш підходять? Крім того, чи може складність алгоритмів бути зменшена?

Це лише деякі з цікавих питань. Ця праця на даний момент не дає повної відповіді на них, але є експериментальною та дослідницькою, при цьому, звичайно, будь-який результат її є цінним.

Українська є мовою без строгих вимог до порядку слів у реченні (хоча є певні усталені переважні варіанти) і має приємне звучання. Отже, вона може бути гарним прикладом та зразком. Крім того, для автора програм це рідна мова.

Навіть якщо ви не бажаєте створити та використовувати "фонетичні" мови, де фонетика є більш важливою, ніж граматика, і тоді ви можете оцінити фонетичний потенціал слів, використаних у тексті, для продукування спеціальним чином озвучених текстів. Це також може бути цінним та помічним у написанні поезії та можливих інших пов'язаних областях.[49]

## Тривалості звуків як основа ритмічності

Основою підходу є той факт, що звуки мови мають різну тривалість, яка залежить від багатьох факторів, яка визначається зокрема як способом звукоутворення (різним для кожного з них), так і іншими факторами, які тією чи іншою мірою можна контролювати, але, зазвичай, повний контроль не вимагається і не досягається. Це призводить до того, що чередування звуків, зокрема їх поєднання у склади, утворює певний ритмічний малюнок. Людина має здатність (яка піддається розвитку та тренуванню) розпізнавати риси цього малюнку, порівнювати їх між собою, робити певні фонетично-ритмічні узагальнення.

Питання визначення тривалостей звуків мови є непростим, але точний результат як уже зазначалося не вимагається. У даній реалізації підходу фонетичних мов використано певні статистичні характеристики звуків, зокрема визначено можливі тривалості. Якщо порівняти спосіб визначення тривалостей, який запропоновано та застосовано у програмі пакету `r-glpk-phonetic-languages-ukrainian-durations`, то аналогією буде упаковка об'ємних об'єктів. Для спостерігача упаковка буде уявною моделлю процесу отримання тривалостей звуків. Програма `pldUkr` (її узагальнення `pldPL` з пакету `phonetic-languages-phonetics-basics` також слідує цим шляхом, але у ній немає нормування, оскільки для різних мов може не бути такого явища як палаталізація) методом лінійного програмування шукає мінімальну оболонку (не в строгому математичному значенні), всередині якої можуть «вміститися» звуки мови. Ця оболонка і має аналогією упаковку, у той час як звуки мови мають аналогією об'єкти змінного об'єму всередині упаковки. Один і той же звук може вживатися у різних ситуаціях, у різних словах з різною тривалістю, але програма старається підібрати такі тривалості, які б «охоплювали» (подібно як огинаюча крива «охоплює» те чи інше сімейство кривих) усі ці варіації для усіх звуків, при цьому застосовується додатково певне нормування на тривалість фонетичного явища палаталізації (пом'якшення) приголосного, яке менше всього контролюється людиною, а тому очікується, що ця тривалість є найбільш стійкою до можливих випадкових чи систематичних коливань. Для української мови можлива тривалість, яка не видозмінює сильно звучання визначена експериментально з використанням комп'ютерної програми `mm1`.

Зрештою, нормування не є обов'язковим, важливо, щоб усі тривалості були пропорційні одна одній, тобто важливими є не самі тривалості (що чисельно виражаються як дійсні додатні числа), а їх взаємні співвідношення (допускається множення цих тривалостей одночасно всіх на одне і те ж додатне число, що не впливає на результати підходу).

## Поліритм як мультивпорядкована послідовність

Нехай маємо послідовність з наступною структурою. Нехай ми здійснили (взагалі кажучи умовний) поділ послідовності на компактні однозв'язні підгрупи з однаковою кількістю елементів кожна у підгрупі, що фактично означає, що ми розбили послідовність на послідовність підпослідовностей з однаковою кількістю елементів у кожній. Розглянемо внутрішню упорядкованість кожної підпослідовності у розумінні розміщення значень її елементів (їх можна порівнювати за відношенням порядку, тобто вони є типом даних, який має реалізований екземпляр класу `Ord`) та повторюваності елементів. Вважаючи, що елементи підпослідовностей можуть бути попарно різними (чи в окремих випадках і однаковими), будемо порівнювати позиції, на яких розміщуються в підпослідовностях підгрупи елементів, які між собою мають вищий ступінь спорідненості ("близькості", "схожості", "подібності") за величиною та порядком (якщо це тип даних числовий, який має природний порядок, наприклад, `Double`, тоді поняття "спорідненості" за величиною та "спорідненості" за порядком співпадають). Позначимо такі підгрупи індексами, які в коді модулів мають частіше всього буквенне позначення.

Тоді кожна підпослідовність складатиметься з однакової кількості елементів однієї природи (зокрема, чисел типу `Double`), у кожній підпослідовності будуть виділені кілька підгруп "подібних" елементів за величиною (і порядком, якщо підпослідовності відсортувати за величиною), кожна з яких матиме свій індекс у вигляді символу (найчастіше у коді – літери). Підгрупи мають мати (насправді приблизно) однакову кількість елементів (у

кодi це не витримано строго для спрощення останнього, але це так у переважній більшості випадків в силу надлишкової "точності" чисел типу Double, що використовуються). Розглянемо питання, на яких позиціях у підпоследовностях розміщуються елементи з тих же самих підгруп, але які належать до різних підпоследовностей.

Для оцінки цього введемо певні числові функції, які мають регулярну поведінку та дозволяють визначати за їх результатом, чи підпоследовності мають елементи, які належать до відповідних підгруп на тих же самих місцях, чи на різних. Можна показати, що ситуація "на різних" відповідає наявності кількох ритмів – для кожної підгрупи буде свій власний, які між собою не співпадають, водночас ідеальна ситуація "повністю на тих самих місцях" відповідає випадку, коли ці ритми між собою узгоджуються, подібно як це відбувається у випадку когерентності у квантовій фізиці, зокрема просторової та часової когерентності, що є важливим зокрема для розуміння роботи лазерів та мазерів. Поліритми, які між собою когерують, утворюють помітніший загальний ритм, подібно як і наявність когерентності у випромінюванні веде до появи більшої структурованості випромінювання.

Як ілюстрація до ідей розділу наступні дані.

Приклад ритмічної последовності (ідеальний випадок).

```
Prelude Phladiprelie.Rhythmicity.PolyRhythm Numeric> let f x = putStrLn . showFFloat (Just 4)
(sin (2*pi*x)) $ "" in mapM_ f [0,0.2..4]
0.0000
0.9511
0.5878
-0.5878
-0.9511
-0.0000
0.9511
0.5878
-0.5878
-0.9511
-0.0000
0.9511
0.5878
-0.5878
-0.9511
-0.0000
0.9511
0.5878
-0.5878
-0.9511
-0.0000
```

```
Prelude Phladiprelie.Rhythmicity.PolyRhythm Numeric> getPolyChRhData 'a' 5 (PolyCh
```

```
[True,True,True,False] 5) (PolyRhythm [1,1,1,1,1]) . map (sin . (*pi) . (*2)) $
[0,0.2..4]
[[RP P c,RP P a,RP P b,RP P e,RP P d],[RP P c,RP P a,RP P b,RP P e,RP P d],
[RP P c,RP P a, RP P b,RP P e,RP P d],[RP P c,RP P a,RP P b,RP P e,RP P d]]
```

А ось приклад послідовності з ритмом, який не є сталим (який менше відчутний).

```
Prelude Phladiprelio.Rhythmicity.PolyRhythm Numeric> let f x = putStrLn .
showFFloat (Just 4) (sin (27182.81828459045*pi*x)) $ "" in mapM_ f [0,0.01..0.24]
0.0000
-0.5139
-0.8817
-0.9988
-0.8319
-0.4284
0.0969
0.5947
0.9233
0.9894
0.7742
0.3388
-0.1930
-0.6698
-0.9562
-0.9707
-0.7092
-0.2460
0.2872
0.7386
0.9801
0.9428
0.6375
0.1509
-0.3787
```

```
Prelude Phladiprelio.Rhythmicity.PolyRhythm Numeric> getPolyChRhData 'a' 5 (PolyCh
[True,True,True,False] 5) (PolyRhythm [1,1,1,1,1]) . map (sin . (*27182.81828459045) .
(*pi)) $ [0,0.01..0.24]
```



```
[[[RP P a,RP P b,RP P e,RP P d,RP P c],[RP P d,RP P e,RP P c,RP P b,RP P a],[RP P a,RP P b,RP P c,RP P e,RP P d],[RP P d,RP P e,RP P c,RP P b,RP P a],[RP P a,RP P b,RP P c,RP P e,RP P d]]]
```

## **Когерентні стани поліритмічності як одне з суттєвих джерел ритмічності**

Описаний паттерн виникнення ритмічності є одним з суттєвих можливих варіантів утворення ритмічності зокрема у текстах чи музиці, але не єдиним. Варто зазначити, що описаний механізм утворення ритмічності, як показують статистичні експерименти з текстами з використанням цього коду (коду бібліотеки та залежних від неї пакетів на сайті Hackage), може бути не єдиним можливим варіантом, але у багатьох випадках має визначальне значення та вплив на перебіг процесу ритмізації (утворення, зміни чи зникнення ритму). Також відомо, що наявність статистичного взаємозв'язку не означає наявності більш глибоких видів зв'язку між явищами, зокрема причинно-наслідкових. "Кореляція не означає причинності". Більш глибокий зв'язок передбачає наявність інших, не статистичних даних, які дозволяють його підтвердити.

## **Наслідки для реп музики**

Код бібліотеки дозволяє на практиці отримати ритмічні зразки, які близькі часто до текстів пісень у стилі реп. Тому це можна віднести до одного з прямих застосувань бібліотеки.[51]

## **Дитина або хтось новий для мови вчиться читати**

Коли дитина тільки починає читати слова мови (або це може бути хтось новий щодо мови), він чи вона починають з вимови фонем для кожного значимого написаного (і, отже, прочитаного) символу. Згодом після деякої практики, дитина починає читати рівно, більш плавно. Тим не менше, якщо текст власне є поетичним твором, зокрема віршованим, ЧАСТО (можливо, зазвичай, чи іноді, чи частіше тощо) є очевидним, що текст, який ось читається у такій манері, має деякі ритмічні властивості, незважаючи на те що фонемі читаються і вимовляються у режимі нерегулярних і до певної міри невідповідних для нормального мовлення тривалостей. Нам буває (часто) достатньо певної організації елементів тексту, щоб відрізнити поетичний текст від непоетичного.

Подібна ж ситуація виникає, коли особа з акцентом (можливо, сильним чи доволі незвичним) читає поетичний текст. Або також в інших ситуаціях. Бібліотека спроектована таким чином, наче Ви маєте справу саме з такими ситуаціями. У ній вважається, що тривалості є фіксованими і відомими (заданими) наперед, і тоді наявність кількох обґрунтованих (більш чи менш) дозволяє оцінити (звичайно, наближено) ритмічні властивості та деякі інші, відповідно до запропонованих тут алгоритмів.

Це все, на думку автора, є підґрунтям для використання бібліотеки та її функціональності в таких випадках.[52]

## **Питання вибору найкращої функції та суміжні питання**

Розглянемо наступне питання: припустимо, ми отримали найкращий варіант (на нашу суб'єктивну думку чи на основі якихось критеріїв, це тут несуттєво) рядка тим чи іншим способом (тут спосіб насправді ролі не грає). Чи існує така функція, яка саме цей варіант рядка робить оптимальним, тобто для якої саме такий варіант рядка з поміж усіх можливих перестановок дає максимум? Так, існує. Це нескладно довести. Доведення нагадує принцип роботи еквайзерів.

Нехай  $n \in \mathbb{N}$  – це кількість складів у такому рядку. Розташуємо тривалості складів у ряд за зростанням (стандартна процедура для описової статистики). Знайдемо найменшу ненульову різницю між сусідніми значеннями, поділимо її на 5. Позначимо цю отриману величину  $\delta$ . Тепер розглянемо ряд тривалостей складів саме для нашого найкращого рядка. Пронумеруємо кожний склад від початку, рахуючи від 1. Позначимо  $Y = \{y_i, \quad i \in \mathbb{N}, \quad i = 1, 2, \dots, n\}$  множину всіх значень тривалостей в порядку слідування складів у найкращому рядку. Позначимо  $X = \{0 = x_1, x_2, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_{n+1}, \quad i \in \mathbb{N}, \quad i = 1, 2, \dots, n\}$  множину координат точок кінців часових умовних інтервалів, на які поділяє наш найкращий рядок часову пряму (лівий край рівний 0, бо відрізок часу починається з 0). Позначимо  $M = \{z_i = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}, \quad i \in \mathbb{N}, \quad i = 1, 2, \dots, n - 1\}$  множину середин відрізків, на які поділяють часову пряму кінці умовних інтервалів. Позначимо  $L_1[a, b]$  клас функцій, інтегрованих за Лебегом на відрізку  $[a, b]$ . Позначимо  $I(y_i, z_i, \delta)[z_i - \delta, z_i + \delta]$  клас усіх обмежених функцій з  $L_1[z_i - \delta, z_i + \delta]$ , максимальне та мінімальне значення кожної з яких лежить на відрізку  $[y_i - \delta, y_i + \delta]$ . Кожну функцію класу  $I$  позначимо  $g$ .

Розглянемо клас функцій  $F$  (своєрідних скінченних аналогів відомих дельта-функцій Дірака), визначених наступним чином:

$$f(x, i) = \begin{cases} g \in I(y_i, z_i, \delta)[z_i - \delta, z_i + \delta], & \text{якщо } y_i \text{ є унікальним значенням у множині } Y, x \in [z_i - \delta, z_i + \delta] \\ y_i, & \text{якщо } y_i \text{ має рівне значення з якимось іншим числом з множини } Y, x \in [z_i - \delta, z_i + \delta] \\ 0, & \text{в усіх інших точках} \end{cases}$$

Легко переконатися, що

$$\sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} f(x, i) dx,$$

де інтегрування здійснюється за Лебегом, і є шуканою функцією (бо лише склади найкращого рядка на своєму місці, враховані зі своїми індексами, дають додатній внесок у її значення, а для всіх інших варіантів функції хоча б деякі зі складів дають 0 внесок), причому вона не єдина в силу того, що у першому рядку визначення  $f(x, i)$  функція може мати довільне значення з замкненого непорожнього інтервалу. Отже, існує принаймні один клас функцій, який описується такою формулою, для кожної з яких даний варіант рядка буде оптимальним.

Поставимо наступне питання: якщо розглянути не рядок, а їх сукупність, наприклад, вірш чи поему. Чи буде існувати для усього твору (для усієї цієї сукупності рядків) функція, яка буде робити оптимальним кожний рядок, тобто яка буде описувати увесь твір, кожний рядок у ньому?

У даному випадку, попередній спосіб побудови функції не дає бажаного результату, оскільки вже для двох рядків може бути, що те, що є кращим для одного з них, є не найкращим для іншого. У випадку збільшення кількості рядків ця загальна неоптимальність тільки посилюється. Тим не менше, існування такої функції для різних частинних випадків є принципово можливою ситуацією, щоправда, імовірність її зменшується як зі збільшенням кількості рядків, так і з появою різних особливостей рядків, які посилюють відмінності між ними. Загалом пошук саме такої однієї функції може бути практично недоцільним.

Тим не менше, якщо розглянути увесь твір як один рядок, вважаючи його оптимальним, то описаний щойно спосіб побудови відповідної функції (класу функцій) знову дає результат. Так, кількість складів у ньому (в узагальненому "рядку"-творі) зростає, але сама процедура дає подібні результати (якщо знехтувати можливими однаковими тривалостями та повторами складів у більшому тексті, які призводять до того, що деякі слова можуть бути переставлені місцями, що робить текст лише приблизно оптимальним). Можна запропонувати подальше вдосконалення цієї процедури (наприклад, введення множників, які залежать від значень сусідніх тривалостей складів), що дозволяє зменшити неоптимальність тексту.

Але все одно, якщо перейти від даного тексту до іншого, отримана функція уже, скоріше всього, не буде оптимальною.

Робимо висновок, що для усієї множини доцільно організованих текстів існування універсальної функції бачиться як певна гіпотеза (з майже напевно заперечною відповіддю).

## **Зв'язок з фракталами**

На цей принциповий "злам", принципову неподібність текстів звернемо увагу.

Але спершу зауважимо наступне. Розглянута функція вище робить оптимальним один варіант рядка, водночас можна розглядати не один варіант, а декілька, серед яких обирати найкращий. Тоді задача зводиться до пошуку оптимальної групи варіантів з можливо мінімальною кількістю складових.

Якщо знову розглянути граничній випадок групи з кількістю елементів рівною факторіалу числа слів у рядку, то легко переконатися з комбінаторних міркувань, що така група містить (складається з, є) усі варіанти рядка з даних слів, серед яких має бути той, який буде результатом. Але уже для 5 слів така група містить  $5! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 = 120$  варіантів по 5 слів, разом це 600 слів, щоб прочитати які потрібно зазвичай кілька хвилин.

Якщо зменшити кількість слів у оптимальній групі, то серед них може не бути потрібного варіанту, але час читання зменшується відповідно. Отже, якщо маємо якийсь спосіб хоча б приблизного упорядкування, то доцільним буде пошук уже оптимального співвідношення "розмір групи – ступінь влучності приблизного упорядкування".

Це призводить до ідеї застосування різних функцій, які легко обчислюються, мають певну характерну поведінку і дозволяють приблизно упорядкувати множини усіх перестановок відповідно до завдання пошуку, і пошук уже не єдиного варіанту, а оптимальної групи варіантів.

При цьому принциповими є етапи пошуку, коли програма не дає повністю бажаного результату. Тоді можна щось змінити в даних (не змінюючи самі слова), або змінити слова, щоб змінити ті варіанти, з якими працює програма, оскільки це змінює структуру множини усіх варіантів і дозволяє отримати інші все ще певною мірою "оптимальні" варіанти з точки зору автора та з точки зору програми. Це дало поштовх так званому рекурсивному режиму роботи, коли зміною даних є злиття слів (і отже, виключення з розгляду варіантів, де вони стоять не підряд), а також режим кількох варіантів.

Цікавим спостереженням також є те, що при рекурсивному режимі можна отримати рядки, в яких більш помітними є "злами" ритмічності, які частіше всього можна включити в ритмічність через введення додаткових пауз. Відомими в теорії є також вірші з паузами (наприклад, так звані цезурами), для яких це може бути корисним.

Також можливість утворити рядки з рядків, а кожен рядок з певних складових, нагадує фрактали. Тим не менше, зв'язок з фракталами потребує більш детального та глибокого вивчення.

Зацікавлений читач може звернутися до літератури.[6, 31, 29, 25, 46, 17, 7, 35, 47, 10, 2, 28, 43, 37, 1, 5, 27, 40, 22, 3, 58, 64]

## **Аналогія з екстремальним принципом**

У механіці та оптиці відомим є принцип екстремальності дії (вводиться фізична величина дії, яка для реальних процесів у цих галузях приймає серед усіх можливих значень за траєкторіями мінімальне (найчастіше), або максимальне значення, або таке, яке не залежить від траєкторії, тобто одним словом екстремальне значення). У термодинаміці є закон зростання ентропії замкнених систем. У випадку механіки та оптики пошук дійсних траєкторій зводиться до пошуку тих з можливих траєкторій, для яких значення функціоналу дії є екстремальним, що дозволяє скористатися апаратом вищої математики для пошуку саме цих екстремальних значень.[45]

Висувалося припущення, що саме аналогія з цим принципом, тобто порівняльний режим роботи у поєднанні з режимом кількох властивостей може дати найкращий результат. Тим не менше, широкі коло гарних віршованих рядків (і не тільки їх) не обов'язково слідує за цим паттерном

віршування. Тому загалом принцип слугує своєю інтуїцією пошуку, але не закономірністю.

### **Можливість використовувати власні тривалості репрезентацій звуків чи фонетичних явищ**

Програми пропонують за замовчуванням чотири різні множини тривалостей фонетичних представлень. але починаючи з версії 0.13.0.0 є можливість задати власні тривалості. Для цього потрібно прописати їх як числа типу Double у файлі в порядку, який визначається наступним чином:

UZ 'A' D	дз (твердый)	8	UZ 'b' K	б (пом'якшений)	16
UZ 'A' K	дз (м'який)	9	UZ 'c' D	ц (твердый)	38
UZ 'B' D	ж (твердый)	10	UZ 'd' D	д (твердый)	17
UZ 'B' K	ж (пом'якшений)	11	UZ 'd' K	д (м'який)	18
UZ 'C' S	й	27	UZ 'e' W	е	2
UZ 'D' N	сь	54	UZ 'f' L	ф (твердый)	43
UZ 'E' L	ч (твердый)	39	UZ 'f' M	ф (пом'якшений)	44
UZ 'E' M	ч (пом'якшений)	40	UZ 'g' D	г (твердый)	19
UZ 'F' L	ш (твердый)	41	UZ 'g' K	г (пом'якшений)	20
UZ 'F' M	ш (пом'якшений)	42	UZ 'h' D	г (твердый)	21
G		55	UZ 'h' K	г (пом'якшений)	22
H	ю	56	UZ 'i' W	і	6
I	я	57	UZ 'j' D	дж (твердый)	23
J	є	58	UZ 'j' K	дж (м'який)	24
K	ї	59	UZ 'k' L	к (твердый)	45
L	'	60	UZ 'k' M	к (пом'якшений)	46
M	'	61	UZ 'l' S	л (твердый)	28
N	нт	62	UZ 'l' O	л (м'який)	29
O	ст	63	UZ 'm' S	м (твердый)	30
P	ть	64	UZ 'm' O	м (пом'якшений)	31
Q	дзь	12	UZ 'n' S	н (твердый)	32
R	зь	13	UZ 'n' O	н (м'який)	33
S	нь	65	UZ 'o' W	о	3
T	дь	14	UZ 'p' L	п (твердый)	47
UZ 'a' W	а	1	UZ 'p' M	п (пом'якшений)	48
UZ 'b' D	б (твердый)	15	UZ 'q' E	ь	7
			UZ 'r' S	р (твердый)	34
			UZ 'r' O	р (м'який)	35
			UZ 's' L	с (твердый)	49
			UZ 't' L	т (твердый)	50
			UZ 't' M	т (м'який)	51
UZ 'x' L	х (твердый)	52	UZ 'u' W	у	4
UZ 'x' M	х (пом'якшений)	53	UZ 'v' S	в (твердый)	36
UZ 'y' W	и	5	UZ 'v' O	в (пом'якшений)	37
UZ 'z' D	з (твердый)	25	UZ 'w' N	ць	66
UZ 'z' K	з (м'який)	26			

де вказані значення у списку відносяться до фонетичих представлень (з модуля Phladiprelio.Ukrainian.Syllable). Останній стовпець є восьмибітними цілими числами (GHC.Int.Int8), якими представляються ці ж звуки в нових модулях.

При бажанні задати кілька таких множин (до 9 включно), можна з нового рядка вказати '\*' чи кілька таких символів, а тоді з наступного рядка буде нова множина значень.

Кожна множина має бути в такому порядку: [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31, 32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49] де число відповідає останньому стовпчику в наведеній вище схемі. 101 (до версії 0.20.0.0 – це було -1, і відповідно стояло не в кінці списку, а на його початку) відповідає паузі між словами (не впливає на результати пошуку рядка). Кожне наступне значення має бути записане у файлі з нового рядка.

Тоді при виклику програми десь серед аргументів командного рядка (немає значення, де саме) вказати «+d» <шлях до файлу зі вказаними даними>. Програми прочитають ці значення і перетворять їх у відповідні значення. Як властивості потрібно тоді використовувати такі, які починаються з літери «H», а далі злитно з нею відповідне позначення властивості. Наприклад, «Hw04», при цьому остання цифра в записі у такому випадку означатиме порядковий номер множини значень, починаючи від 1 (максимально 9).

Поряд з власними значеннями можна використовувати і задані бібліотечно, як звичайно, в режимі кількох властивостей.

## **Мінімальна граматики для можливого збереження смислу та зрозумілості**

Програми використовують перестановки слів, які нехтують будь-якими (чи принаймні частиною) граматичних зв'язків, порядком слів тощо. Це може призвести (крім необхідності вдумування) до ситуацій коли граматично пов'язані конструкції мови розриваються, їх частини переносяться в інші місця, утворюючи нові зв'язки і змінюючи смисл тексту.

Щоб цього було менше, щоб усунути деякі з таких ефектів, програми застосовують конкатенацію слів, які мають тісний граматичний зв'язок, щоб не розривати їх при аналізі. Це дозволяє зберегти більшу смислову легкість та впізнаваність тексту, а також як побічний ефект збільшити загальну довжину рядка, який може бути проаналізований. В українській мові граматично пов'язані службові чи залежні слова йдуть переважно перед незалежним чи головним, тому застосовано приєднання цих службових чи залежних слів до наступного за ними. Повнота визначення таких випадків не є вичерпною, але розглянуті найбільш часті випадки.

Для загального випадку потрібно мати на увазі, що службові чи залежні слова можуть йти і після незалежного чи головного, тому це потрібно розглядати окремо (і приєднувати такі слова до попереднього, а не до наступного). Наразі в узагальненій версії -phladiprelio-general-simple реалізовано обидва варіанти.

## **Зменшена множина перестановок як варіант універсальної**

За замовчуванням програми аналізують універсальну множину перестановок усіх слів та їх конкатенацій, при цьому кількість аналізованих варіантів зростає як факторіал числа таких слів чи сполучень. Текст, організований більш чи менш узгоджено щодо тієї чи іншої властивості, може кардинально відрізнитися від початкового, що ускладнює розуміння та має ефект затримки обчислень.

Для експрес-перевірки можливого покращення тексту з використанням підходу введено множини перестановок лише одного слова відносно тексту, а також двох слів чи їх сполучень як універсальні множини (додатково до повної). При роботі програм вони задаються параметром командного рядка «+r» десь серед аргументів (положення не має значення). У такому випадку використовуються зменшена множина перестановок. Кількість слів та їх сполучень, які можуть розглядатися програмою як один рядок для аналізу збільшується у такому випадку до 10. Щоб використати мінімально можливу множину перестановок, потрібно задати як наступний аргумент командного рядка "1" (лише одне слово), для попарних

перестановок – "2" (парна перестановка). Тоді серед аргументів командного рядка буде вираз "+p 1" у першому випадку, "+p 2" – у другому, а для повної множини перестановок, як і раніше, можна не задавати цю групу (повна множина, таким чином, використовується за замовчуванням).

У цьому випадку аналіз відбувається значно швидше (бо значно зменшується кількість розглядуваних випадків), і текст змінюється менше, що дозволяє зберегти його більшу впізнаваність. Можливе послідовне застосування цього випадку, проте слід мати на увазі, що у випадку попарних перестановок так можна отримати не найкращий варіант з точки зору підходу, також це може зайняти у такому випадку навіть більше часу, ніж аналіз усієї множини перестановок (бо деякі варіанти будуть аналізуватися по кілька разів, чого не відбувається у першому випадку). У випадку перестановок лише 1 слова відносно тексту виглядає так, що якщо при послідовному застосуванні вибору максимального елемента двічі підряд за тими ж властивостями отримуємо один і той же варіант, то шанси, що він і буде максимальним для повної множини перестановок, збільшуються в порівнянні з випадком попарних перестановок, але оцінити збільшення (якщо ця гіпотеза дійсно вірна) складно у загальному випадку. Все ж на практиці пошук такого "мінімально покращеного" варіанту є перспективним, оскільки він може добре зберегти смисл, покращуючи ритмічну структуру. При цьому слід враховувати наступне: при пошуку максимального елемента за значенням властивості (тобто без зміни структури) якщо при аналізі зменшеної множини перестановок отриманий текст, який співпадає з початковим, то є хороші шанси, що саме цей варіант є оптимальним з точки зору розглядуваної властивості (хоча це не гарантується). І ще одне: у такому випадку досягається локальний максимум (який може бути глобальним, а може і ні). Якщо ж повторне застосування призводить до утворення іншого (уже третього) варіанту, значить, попередній локальний максимум точно не був глобальним і програма рухається в його напрямку.

Дивіться також: [60, 55, 59, 57, 62, 53, 56, 61, 54]

## **Більше про ритм у музиці та мові**

У роботі [11] розглядається музичний ритм, метр, пульс та інші подібні теми.

Під пульсом розуміється один з серій регулярно повторюваних однакових стимулів (звуків). Під метром розуміється міра кількості пульсів між більш чи менш регулярними акцентами. Акцентами названі ті пульси, які для людини видаються виділеними серед інших. Під ритмом (музичним) у роботі розуміється те, як один чи кілька неакцентованих бітів (пульсів у метричному контексті) групуються навколо одного акцентованого. Акцентованість може виникати по-різному і не співпадає з підсиленнями звуку, а може бути викликана найрізноманітнішими факторами в музиці.

Зазначається, що немає строгих і простих правил визначення ритмічних груп, але є певні тенденції (принаймні у Західній музиці – Прим. автора), на які потрібно зважати. Іноді також групування може бути двозначним (багатозначним), поліваріантним, допускати водночас різні варіанти, які співіснують разом.

Групування є архітектонічним, тобто має різні рівні, які взаємопов'язані між собою. На різних рівнях групування є продуктом подібності та відмінності звуків, також близькості та роздільності, які відчуваються органами чуттів і організуються розумово.

Тут зазначу, що програми розглядають структури з однаковою кількістю складів в одній групі, але виділеними можуть бути у групі не один елемент (склад), а кілька, ледве чи не всі. Більше того, розглядається ступінь виділеності, який розглядається як міра значимості тих чи інших складів при обчисленні значень властивостей. Ці групи складів можна співвіднести з метром, тоді як різна кількість значимих складів відповідає тому факту, що метр може існувати безвідносно ритму. У класичному розглянутому підході ритмічною є група з одним акцентованим звуком. У програмах немає чіткої залежності між акцентованим складом і мірою значимості. Це означає, що пропонується інший підхід до цього питання, результати якого можуть бути плідними. Тим не менше, можна часто вважати, що групі значимих складів відповідає ритмічна група на одному з архітектонічних рівнів, і тоді структурам з максимальним значенням відповідних властивостей такого типу відповідатимуть рядки з більш регулярним повторенням ритмічних груп у їх загальних рисах, тобто більша рівномірність на вищому архітектонічному рівні композиції твору, а меншим значенням відповідних властивостей такого типу відповідатимуть нерівномірно розподілені по рядку ритмічні групи, або їх видозміни, тобто

більш складний (і тому, можливо, менш впізнаваний та відчутний, менш значимий) ритмічний малюнок на вищому архітектонічному рівні. Також можна орієнтовно вважати, що для максимальних за значеннями відповідних властивостей рядків ритмічне групування пов'язане з метричним, якщо ж розглядати не максимальні елементи, то міра зв'язку між ритмічним групуванням та метричним послаблюється, тобто такі рядки тяжіють (у музичному сенсі) до «вільного» ритму Східної та народної музики та «measured rhythm» григоріанських кантів [11]. Фактично це пропонує доволі широкі можливості для дослідження зв'язку між метричною та ритмічною структурою в мові.

## **Відмінності між ритмічністю в музиці та мові та їх культурна обумовленість**

У роботі [23] показано натомість, що замість групування на основі принципів сприйняття (голосніший звук частіше починає групу, а також подовжений звук чи інтервал частіше завершує групу) для музики можливе групування різне для представників Великобританії та Японії, тобто є значно зумовлене культурою, а також патернами у мовах носіїв. У цій же роботі наведено багато посилань на роботи, у яких розглядалися раніше той чи інший підходи. Також вказані відмінності між англійською (також українська ближча до англійської у такому контексті) та японською мовами, зокрема передумання службових частин мови головним словам в англійській (і українській), тоді як слідує після головних у японській мові.

У роботі [19] згадуються відмінності між мовами у тривалостях складів: можна поділити мови на ті, в яких структура складів більш чи менш варіативна. Це зокрема впливає на неоднаковість тривалостей звуків у різних позиціях, на явища редукції голосних у мовах, де структура складів більш варіативна. У роботі [4] також зазначається, що, наприклад, у французькій мові є дуже помітним явище подовження тривалостей кінцевих складів, особливо у кінці фрази чи речення. Програми не враховують подібні відмінності в тривалостях складів, але їх врахування може бути задачею подальшого їх вдосконалення.

Про відмінності в ритмічності в музиці та мові йдеться в роботі [26]. У ній застосовано міждисциплінарний підхід. Зокрема аналізом мозкової активності при реакціях на неконгруентності (відступи від структури ритму) в мові показано, що вони значно впливають також на процес розуміння значення мови (подовжують час реакції та розуміння). Також подібні результати щодо впливу ритму на здатність розуміння та мови наводяться в роботі [30]

У роботі [24] розглядаються особливості афро-американської ритмічної системи в музиці, зокрема виділяється така риса, як більш насичена ритмічна розробка менших частин творів та менша варіативність між меншими частинами одного більшого твору, а також ідея виразного ритму (експресивного), в якому на протигагу до рівномірного біту Західної музики вводяться приблизний еквівалент біту та значно менший за тривалістю «атомічний» ритм, який, можна вважати (умовно), складається з нот приблизно  $1/16 - 1/24$  тривалостей та вносить «виразні деталі». Відзначається також явище суперпозиції різних циклічних ритмів в один загальний (добре простежується, наприклад, в Афро-Кубинській румбі), що схоже на ідею когерентності поліритмів для утворення одного ритму. Явище виразного «атомічного» ритму, його використання та характеристики показують, що є сенс вводити тривалості фонетичних явищ з високою (на перший погляд надмірною) точністю.

У роботі [48] показано, що діти віком 5-24 місяці сильніше реагують на музичні ритми, ніж мовні, також, що вони переважно викликають позитивні емоції у них, також рухову активність.

У роботі [42] розглядається, як ритми в музиці можуть викликати емоційні стани людини чи впливати на них. Зазначається, що це не автоматичний процес, що на нього впливають індивідуальні смаки, обізнаність та тренування.

У роботі [8] робиться спроба дослідити вплив мелодійних та ритмічних змін на сприйняття мелодії. Виявлено, що мелодії розгортаються повільніше (у сприйнятті), якщо у них більше змін по висоті звуків, більше несумісних змін у ритмічній структурі.

У роботі [13] пропонується підхід до визначення початку в звуковому музичному сигналі на основі аналізу також ритму.

У роботі [44] досліджується обробка мозком музичної інформації у досвідчених джаз-музикантів порівняно з некваліфікованими. Показано, що є помітні відмінності у здатності передбачити ритм. Це свідчить про можливість тренування відчуття ритму.



У роботі [9] експериментально показано, що попереднє прослуховування музики з відповідним подібним ритмом покращує здатність виявлення фоновим у мовленні, а також цей ефект підсилює попередня аудіо-рухова підготовка до прослуховування мовленнєвих речень. Це може бути застосовано, наприклад, у логопедії. Також робиться припущення про обробку мовних та музичних часових (ритмічних) структур мозком за участю спільних (одних і тих же) ресурсів.

У роботі [14] досліджується зв'язок між часовою та ритмічною структурою музики на рівні ноти, пропонується спосіб, який суттєво враховує ритм, для визначення початку ноти у звуковому сигналі.

У роботі [39] експериментально показано, що якщо йдеться про осмислену фразу, то швидше сприймаються фонемні у наголошених складах, а якщо фраза складається з безглузких слів (без лексичного значення), то суттєвої різниці у часі реакції для наголошених та ненаголошених складів немає. Робиться висновок, що наголошені склади можуть передбачатися (варіант аперцепції), тоді як ненаголошені – ні (так пояснюється різниця у часі реакції). Такий результат нашоє на думку, що наявність динамічних наголосів покращує швидкість осмислення тексту (для тих, хто є носієм культури з мовою, в якій є динамічні словесні наголоси).

У роботі [32] робиться певний підсумок щодо зв'язку ритмічної структури в мові та музиці, зокрема вказується очевидний факт наявності багато чого спільного у ритмічних групуваннях у мові та в музиці, водночас це не робить їх ідентичними. Для дослідження далі пропонується розглядати вплив мовної ритмічної структури на музичну. Згадується, що наявні дані частково підтверджують, що музична ритмічна структура зазнає впливу мовної. Під мовним (лінгвістичним) ритмом розуміється поєднання кількох факторів, які впливають на часову організацію мовлення. По-перше, це чергування слів та пауз, по-друге, різні тривалості складів, по-третє, чергування наголошених та ненаголошених складів. Ці фактори можуть призвести до того, що мови можуть бути ритмічно подібними чи різними. Під музичним ритмічним групуванням розуміється також групування у фрази, чи є біт, чи він є періодичним, а також метрична структура. Спільним виступає сам факт групування у фрази, а відмінності переважно у періодичності. Зокрема, автори підкреслюють, що початкова та впливова гіпотеза про розподіл мов на ті, в яких наголоси приблизно рівномірно розподілені, та ті, в яких тривалості складів приблизно однакові, тобто початки складів приблизно рівномірно розподілені, не підтверджується наявними експериментальними даними. Це створює реальні перспективи використання програм для багатьох мов. Тим не менше, лінгвісти зберегли ці поняття та продовжують описувати ними відмінності в мовах. Ведуться дискусії щодо того, чи це справді значимі поняття, чи лише два кінці одного цілого, у якому всі мови займають своє місце. Важливим також є факт відсутності у звичайних умовах періодичності в мовному ритмі, на противагу до поширеного стану в музиці. Також автори висловлюють своє переконання, що вплив мовних ритмів на музичні не є універсальним, а більше характерний для періодів та подій, коли композитори намагаються підкреслити свою національну ідентичність та приналежність.

## **Поради щодо використання програм**

Виходячи з вищесказаного, ритмічність утворених програмами варіантів може в багатьох випадках бути помітнішою, якщо читати слова в рядках без значних пауз між ними (як один фонетичний потік), не намагаючись виділяти наголоси. Це може і не бути так, але якщо отримані варіанти виглядають не дуже ритмічними, спробуйте саме такий варіант, і тоді порівняйте, зробіть висновки, чи підходить саме таке прочитання для Вашої ситуації.

## **Додаткова інформація**

У роботі [38] пропонується метод класифікації музики, який використовує приховані марковські ланцюги, також інформацію щодо ритмічної структури, порівняний за точністю з ручною класифікацією.

У роботі [20] пропонується порівняно ефективний спосіб визначення ритмічної подібності фрагментів музики.

У роботі [15] вивчалось, чи виділяють піаністи-виконавці систематичними варіаціями виконання різні особливості ритмічної структури, метру та мелодії. Найбільш характерними виявилися виділення ритмічного групування.

У роботі [41] автори намагаються застосувати вейвлет-аналіз для отримання характеристик ритмічних структур музичних творів та мовлення, виділено їх математичні особливості, потім застосовано отримані результати для аналізу творів. Показано, що вони мають розумну перцептивну основу. Пропонується обговорення можливості застосування отриманих результатів до каскадного генерування ритму.

У роботі [36] розглядається статистичний поширений підхід до визначення мовної ритмічної структури, що заснований на вокальних (голосних та їх послідовностей) та інтервокальних (приголосних та їх послідовностей) інтервалах (відстанях, тривалостях) та їх варіативності. Показано, що це дозволяє краще провести типологізацію мов щодо ритмічної структури. Додатково розглядається до вже означених мов з приблизно однаковою періодичністю розподілу наголосів, мов з приблизно однаковою тривалістю складів, також мови з приблизно однаковим розподілом мор (мора – це склад з коротким голосним чи один короткий голосний, який відчувається як найменше ціле в мові замість звуку чи складу). Для оцінок використовуються варіанти індексів попарної варіативності (rPVI, nPVI) та / або середні квадратичні відхилення. Значна частина роботи присвячена описанню точок зору на питання, чи можлива кластеризація та типологізація мов за ритмом таким чином, чи вони усі утворюють певний континуум значень, розподіляючись в межах однієї великої групи. Дослідження продовжуються у цій галузі.

У роботі [16] показано, що замість тривалостей для визначення ритму можна використовувати звучність (sonority), що також дозволяє легше автоматизувати процес сегментації на ритмічні групи. Пізніші дослідження продовжують вивчати це питання, використовуючи, зокрема, приховані марковські ланцюги.

У роботі [33] продовжується вивчення впливу особливостей мовної ритмічної структури на музичну для видатних англійських та французьких композиторів минулого. Ведеться дискусія з цього питання.

У роботі [34] проводиться аналіз цього питання для німецьких та австрійських композиторів за проміжок часу близько 250 років, вказується, що є коливання, які можуть бути пояснені історичним та культурним, а не мовним впливом.

У роботі [12] продовжується ця ж тема у порівнянні також з італійськими композиторами.

У роботі [21] розглядаються теорії мелодійного музичного наголосу. Експериментальний розгляд підтверджує переважно теорію Джозефа Томассена (1982). У цій моделі (теорії) найбільш акцентованими є поворотні точки в мелодії, коли зміна висоти нот відбувається в протилежних напрямках, причому більше це помітно для повороту з переходом від зростання до спадання, ніж для повороту з переходом від спадання до зростання. Але в різних випадках може мати місце мелодійний наголос іншого роду. Показано, що мелодійний наголос може бути доволі слабким фактором у ритмічній структурі музики.

У роботі [19] робиться аналіз, чи можуть слухачі визначати за ритмами музики (мову якої вони добре знають), якою мовою ця пісня. Як виявилось, у багатьох випадках можуть. Слухачі можуть використовувати подібності та відмінності в ритмічних структурах мов для визначення, якою мовою була складена пісня.

Цікава додаткова інформація щодо ритму та суміжних музичних явищ є в роботі:

1. Adam Neely. Solving James Brown's Rhythmic Puzzle. Adam Neely. 2021.

## Аналогія з режимом течії рідини, плазми чи газу

У роботі [63] описано елементи енергетичної теорії мовлення, згідно з якою, "склад є мінімальною артикуляторною одиницею,.. репрезентуючи одиничне скорочення м'язів та протиставлення «приголосний – голосний»".

Тоді послідовність вимови складів утворює певний *потік артикуляторної енергії*, тобто інтегральну послідовність мовних актів, яку можна порівняти з потоком рідини, плазми чи газу (надалі для можливо більшої короткості, будемо писати лише про потік рідини, хоча мається на увазі більш широке поняття).

Здійснимо таке порівняння детальніше.

Для потоку рідини можливі два основних режими течії (руху) — ламінарний та турбулентний. Гарне наочне пояснення можна переглянути, наприклад, в англійському відео за посиланням: [Understanding Laminar and Turbulent Flow — Efficient Engineer](#).

У роботі [65] наведено наступне визначення: "Турбулентність – явище виникнення вихорів різних розмірів у течіях рідин і газів. Внаслідок турбулентності характеристики цих течій рівномірно змінюються у просторі і часі. Турбулентність виникає, коли число Рейнольдса, що характеризує течію, перевищує деяке критичне значення".

У роботі [18] говориться про те, що течія рідин та газів може відбуватися як у ламінарному, так і в турбулентному режимах.

Чи можна знайти щось подібне у мовленні? Чи є якісь мовні "вихори"?

Якщо вважати, що "мовленнєві вихори" існують, принаймні у деяких випадках, то тоді можна говорити про "турбулентність мовленнєвого потоку" в цих випадках.

Але спираючись на особливості звукоутворення під час усного мовлення, встановити наявність певних "мовленнєвих вихорів" складно. Якщо їх дійсно немає, то доцільно порівнювати мовленнєвий потік з ламінарним режимом течії, або з перехідним.

У вище згаданому відео йдеться про те, що існує також перехідний стан між ламінарною та турбулентною течіями рідини.

Чи можна додати щось до мовлення, щоб утворилися аналоги вихорів?

Спочатку можна шукати джерела "вихорів" у музиці — адже в ній більше повторень, ніж у мовленні, а їх можна частково порівнювати з вихорами, в яких рух частково повторюється.

Але для турбулентної течії хахактерним є так званий енергетичний вихровий каскад, то для музики та мовлення немає можливості утворити найменші вихори, які могли б розсіювати енергію через в'язке тертя. Тобто в музиці та в мовленні маємо справу з квантованими елементами, наприклад фонемами та актами мовлення, зі звуками, і тому класичну картину турбулентності отримати не вдається все одно.

## Обмеження (constraints)

У роботі [50] введено цікаву систему обмежень, які дозволяють розглядати лише деякі підмножини усіх можливих варіантів, які будуються для врахування взаємного порядку слів та їх місця у рядку.

При запуску програми `phladiprelioUkr` можна вказати як аргументи командного рядка обмеження. Вони дозволяють зменшити кількість обчислень, розглядати лише певні варіанти (наприклад, з певним визначеним порядком деяких слів тощо), що дозволяє фактично розширити можливості програми.

Є два варіанти кодування інформації про обмеження. Вони використовують ті ж базові обмеження, але відрізняються тим, що розширений варіант дозволяє виконувати алгебраїчні операції з булевими множинами, що дозволяє отримати в одному введенні повний результат, яким би він не був. Натомість більш давній варіант заснований на простій лінійній логіці, якої також може бути в багатьох випадках достатньо — усі використані обмеження у базовій формі мають бути виконані одночасно, що еквівалентно наявності між ними зв'язку через оператор (&&) (логічне булеве "і") та перетину відповідних булевих множин.

Оскільки слів та їх сполучень у цій реалізації передбачається не більше 7 в рядку, то всі цифри в базових обмеженнях мають бути не більші 7, щоб обмеження було "ненульовим".

Також варто сказати, що для отримання більш-менш цікавих результатів, доцільно буває часто зменшити кількість обмежень і використати менше, ніж необхідно.

### Базові обмеження

Типів базових обмежень є 12, їх можна довільно комбінувати, але з дотриманням специфікацій для кожного з них. Якщо специфікації порушені, то програма прочитає це обмеження як його відсутність (що фактично буде вважатися як "E").

Базовий принцип — цифри вказують на порядковий номер слова чи сполучення слів, записаних як одне слово, у рядку, починаючи з 1 (натуральне число), а буква вказує на тип базового обмеження. У правила є виключення — "нульове" обмеження (його відсутність, тобто позначається вся множина всіх можливих перестановок), у якого є лише буква і немає цифр — "E".

Також необхідною умовою того, що обмеження буде не нульовим, є те, що жодні цифрові символи в межах одного кодованого обмеження не можуть повторюватися двічі. Наприклад, завідомо не є валідними обмеження: Q2235 (повтор цифр), E2 (цифрові символи в нульовому обмеженні, де їх немає), T248 (8 більше 7), F1 (один символ замість необхідних двох), A3852 (8 більше 7), B5 (один символ, а мають бути ще).

Типи обмежень та їх значення наведено детальніше далі.

- Обмеження E – Без вводу додаткових цифрових символів – Відповідає відсутності додаткового обмеження. Позначає усю множину всіх теоретично можливих перестановок. Якщо вживається у розширеному варіанті (+b ... -b), то може бути запереченим (negated) символом

"-", і тоді відповідатиме разом з цим символом порожній множині перестановок, тобто відсутності фактичних варіантів.

- Обмеження Q – 4 попарно нерівні цифри в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень – Цифри – це номери 4-х слів чи їх сполучень, взаємний порядок яких при перестановках буде збережений таким.  
Також якщо ці слова однакові (без врахування великих та малих літер), тоді це зручний спосіб зменшити об'єм даних, який буде аналізуватися.
- Обмеження T – 3 попарно нерівні цифри в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень – Цифри – це номери 3-х слів чи їх сполучень, взаємний порядок яких при перестановках буде збережений таким.  
Також якщо ці слова однакові (без врахування великих та малих літер), тоді це зручний спосіб зменшити об'єм даних, який буде аналізуватися.
- Обмеження U – 5 попарно нерівних цифр в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень – Цифри – це номери 5-х слів чи їх сполучень, взаємний порядок яких при перестановках буде збережений таким.  
Також якщо ці слова однакові (без врахування великих та малих літер), тоді це зручний спосіб зменшити об'єм даних, який буде аналізуватися.
- Обмеження F – 2 попарно нерівні цифри в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень – Цифри – це номери 2-х слів чи їх сполучень, взаємний порядок яких при перестановках буде збережений таким.  
Також якщо ці слова однакові (без врахування великих та малих літер), тоді це зручний спосіб зменшити об'єм даних, який буде аналізуватися.
- Обмеження A – 1 цифра та ще кілька попарно нерівних цифр (усі між собою нерівні) справа від неї в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень – Перша цифра – порядковий номер елемента, відносно якого визначається розміщення усіх інших елементів (слів чи їх сполучень); усі інші цифри правіше – номери елементів, які мають стояти в отриманих перестановках ПРАВИШЕ від елемента з номером, рівним першій цифрі.
- Обмеження B – 1 цифра та ще кілька попарно нерівних цифр (усі між собою нерівні) справа від неї в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень – Перша цифра – порядковий номер елемента, відносно якого визначається розміщення усіх інших елементів (слів чи їх сполучень); усі інші цифри правіше – номери елементів, які мають стояти в отриманих перестановках ЛІВІШЕ від елемента з номером, рівним першій цифрі.
- Обмеження P (fixed Point) – 1 чи ще кілька попарно нерівних цифр (усі між собою нерівні) в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень – кожна з них означає порядковий номер слова, яке при перестановках буде залишатися на своєму місці.
- Обмеження V – (як половина від W) – 2 нерівних цифри в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень, кожна з яких означає порядкові номери двох слів, відстань між якими та взаємний порядок яких будуть збережені при всіх перестановках. Найчастіше може використовуватися для двох сусідніх слів і означає тоді, що вони такою парою будуть присутні у всіх варіантах, які аналізуються. Буває також важливим, якщо не хочеться з'єднувати такі слова, щоб не змінити склади на їх спільних ("дотичних") межах при цьому.
- Обмеження W – (від слова tWo - 2) – 2 нерівних цифри в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень, кожна з яких означає порядкові номери двох слів, відстань між якими буде збережена при всіх перестановках. Найчастіше може використовуватися для двох сусідніх слів і означає тоді, що вони будуть присутні у всіх варіантах разом, але їх взаємний порядок може бути і зворотною.
- Обмеження H – (від слова tHree - 3) – 3 попарно нерівних між собою цифри в межах від 1 до кількості слів чи їх сполучень, кожна з яких означає порядкові номери трьох слів, відстані між якими та взаємний порядок яких будуть збережені такими при всіх перестановках. Певна підмножина обмеження R. Найчастіше використовується для трьох слів підряд.

- Обмеження R — (від слова thRee - 3) — аналогічно до H, але при цьому зберігаються лише відстані між першими двома словами і між другим та третім словами. Порядок же їх може змінюватися на зворотній. Доволі складна комбінація, але вона може бути важливою з огляду на граматику, а також на сам рядок для аналізу.
- Обмеження M — (від слова Mixed) — змішане H-R обмеження — аналогічно до H, але між першими двома зберігаються як відстань так і їх взаємне розміщення, а між другим і третім — лише відстань. Також доволі складна комбінація, певна підмножина обмеження R.
- Обмеження N — (fixed poiNts) — парна ненульова кількість цифр, де кожна цифра, які стоїть на непарній позиції (перша цифра, третя, п'ята тощо), означає порядковий номер слова чи сполучення у рядку, яке має зафіксуватися у новій позиції, а наступна цифра — новий порядковий номер цього слова чи сполучення слів; таким чином, якщо ця пара цифр співпадає, то це означає, що це слово має залишитися на своєму місці, інакше — буде зафіксоване у новій позиції. Узагальнене обмеження P, де користувач може змінювати положення слів та їх сполучень у рядку та фіксувати їх.
- Обмеження D — (DistanceD worDs) — три цифри, дві перші з яких мають бути нерівними між собою і вказують порядкові номери двох слів чи їх сполучень, які мають зберегти взаємний порядок, а третя цифра — нова відстань між цими словами (1 означає, що слова йдуть підряд, 2 — між словами є одне інше слово тощо), вона має бути в межах від 1 до кількості слів та їх сполучень мінус 1. Узагальнення обмеження V, де користувач може задавати нову відстань між словами.
- Обмеження I — (dIstanced words) — аналогічне до D, з тією різницею, що слова можуть стояти і в зворотньому порядку. Тому в символічному записі  $labc == lbac$ . Також  $Dabc + Dbac == labc$ . Узагальнення обмеження W, де користувач може задавати свою відстань між словами.

## Проста лінійна логіка "I"

Якщо використовується лише одне з базових обмежень, або точно відомо, що необхідно, щоб виконувалися усі базові обмеження в їх множині одночасно, то можна скористатися цим варіантом. Він співпадає за логікою з тим, який був реалізований раніше.

Для цього використовуються +a ... -a "дужки", між якими стоять обмеження у їх записі, і всі вони відділені одне від одного пробілом. Наприклад:

- +a P23 A456 -a — означає, що P23 і A456 виконуються одночасно — тобто, що друге та третє слово мають залишатися на своїх місцях (обмеження P), а також що п'яте та шосте слово мають обов'язково стояти після четвертого (обмеження A).
- +a B23 F45 E T356 -a — означає, що B23, F45, E і T356 виконуються одночасно, тобто третє слово має стояти після другого, п'яте після четвертого, "нульове обмеження" (означає, що тут його можна просто опустити), і взаємний порядок третього, п'ятого і шостого слів має бути збереженим.

Фактично, символ пробілу між обмеженнями у цьому варіанті означає логічне "I".

Якщо потрібно задати більш складні обмеження, або в загальному випадку з огляду на можливу швидшу роботу з програмою потрібно користуватися загальним алгебраїчним варіантом задання обмежень.

## Алгебраїчний (універсальний) варіант обмежень

Відразу зазначу, що для якісного використання цієї функціональності потрібно знати основи логіки та/або теорії множин, але ці матеріали є широко доступними різними мовами, зокрема українською та англійською, на різному рівні складності. З математики як мінімум потрібно розуміти,

що таке логічне "І" (кон'юнкція), логічне "АБО" (диз'юнкція), логічне заперечення "НЕ", універсальна множина та доповнення множини. Якщо Ви вмієте програмувати хоча б однією мовою, то також знайомі з цими поняттями та користувалися ними.

Для використання алгебраїчного варіанту обмежень застосовуються +b ... -b "дужки", між якими стоять обмеження у їх записі, причому можуть у записі додатково використовуватися дужки та знак "-", який означає логічне заперечення (логічне "НЕ") наступного за мінусом виразу в дужках або базового обмеження. Дужки, як це часто буває, означають порядок обчислення, як в алгебрі. Після мінусу має обов'язково бути або відкрита дужка і вираз, або базове обмеження.

Якщо запис обмежень стоїть підряд злитно без пробілів, то це розуміється програмою як "множення" обмежень, тобто логічне "І", а якщо між ними є пробіл — то це "додавання" (логічне "АБО").

Символів "-" не може бути більше 1 підряд, також пробіли між групами обмежень можуть бути лише по одному. Дужки мають відкриватися і закриватися згідно загальних правил алгебри (наприклад, кількості відкритих і закритих дужок мають бути рівні між собою). Якщо ці правила порушуються, програма виведе повідомлення про неможливість вивести варіанти, які відповідають цим обмеженням і прохання задати інші дані та обмеження. Група в дужках має містити хоча б одне базове обмеження. Пріоритет операцій такий же, як і для логічних операторів у Haskell і загалом у булевій логіці.

Примітка: якщо ви використовуєте оболонки Linux (наприклад, bash) або Windows PowerShell, то для використання круглих дужок вам потрібно використовувати лапки для всього узагальненого алгебраїчного обмеження. Будь ласка, зверніться до додаткової документації до вашої оболонки або PowerShell.

Приклади правильного задання обмежень:

- +b '(A23-H345 P45-(A24 B56))' -b — це символічний запис булевої множини

(A23 && not H345 || P45 && not (A24 || B56)),

де 'not' означає доповнення до множини в універсальній множині перестановок, тобто тут це всі ті теоретично можливі перестановки, крім тих, які позначаються виразом після "-". Математично це можна умовно записати як:

$$(A23 \wedge \neg H345 \vee P45 \wedge \neg(A24 \vee B56))$$

- +b A345B62 P4-Q3612 -b — це символічний запис булевої множини

A345 && B62 || P4 && not Q3612,

що еквівалентно математично:

$$A345 \wedge B62 \vee P4 \wedge \neg Q3612$$

- +b '(E)-P4' -b — це символічний запис булевої множини

(E) && not P4,

що еквівалентно математично:

$$U \wedge \neg P4 = \neg P4,$$

де  $U$  — універсальна множина усіх теоретично можливих перестановок.

Приклади неправильного задання обмежень — якщо у кожному попередньому вище забрати один символ, крім цифр та пробілів, або будь-де написати два підряд мінуси чи пробіли. Або відкрити і закрити дужки без букв всередині.



## Попередня реалізація

Попередня реалізація є за посиланням: <https://hackage.haskell.org/package/phonetic-languages-simplified-examples-array>

## Передумови користування пакетом програм

Поки програми працюють для робочих станцій (десктопів, desktop, working station тощо), і немає мобільних версій.

Потрібно, щоб були встановлені та налаштовані програми мовою Haskell:

1. GHC (версії не раніше 8.10)
2. Cabal

Виконувані файли цих програм мають бути доступні для пошуку через змінну робочого середовища PATH (це типова їх установка).

Якщо є змога, встановіть за допомогою системного менеджера пакетів (програм) також важливі пакети Haskell `bytestring`, `vector`, `heaps`, `parallel`.

Якщо потрібні згадані пакети мовою Haskell не встановлено за допомогою системного менеджера, при встановленні пакетів вони будуть завантажені та встановлені автоматично, при цьому додатковий час піде також на їх компіляцію.

### Встановлення пакету

Відкрийте командний рядок чи термінал і введіть як команди:

```
cabal update  
cabal --reinstall --force-reinstalls v1-install phladiprelie-ukrainian-simple
```

Якщо бажаєте використовувати узагальнену версію:

```
cabal --reinstall --force-reinstalls v1-install phladiprelie-general-simple
```

## Подяки

Автор присвячує роботу над цим проектом фонду Gastrostars та засновниці фонду Еммі Кок. Як зазначено на сайті фонду: "Фонд Gastrostars є пацієнтською організацією хворих на гастропарез. Це розлад шлунка, при якому його м'язи погано або зовсім не працюють. Це заважає нормальному спорожненню шлунка і має величезний вплив на життя пацієнтів. Фонд — це місце, де можна спілкуватися один з одним, ділитися історіями та досвідом, давати один одному поради та поради. Має бути не тільки більше розуміння цієї хвороби, але й більше допомоги в боротьбі з нею" (переклад Google). Якщо Ви бажаєте фінансово підтримати фонд, будь ласка, контакуйте з ним через форму на сайті: <https://gastrostars.nl/hou-mij-op-de-hoogte>.

Автор хоче висловити подяку авторам роботи Provably Correct, Asymptotically Efficient, Higher-Order Reverse-Mode Automatic Differentiation Faustyna Krawiec, Simon Peyton-Jones, Neel Krishnaswami, Tom Ellis, Richard A. Eisenberg та Andrew Fitzgibbon за ідею щодо оптимізації, а також Mikolaj Konarski за те, що звернув увагу автора на цю статтю. Також автор висловлює подяку кожній людині, яка щиро сприяла у тій чи іншій формі проведенню дослідження, зокрема українським військовим на фронті в Україні.

## Bibliography

- [1] Shlomo Alexander and Raymond Orbach. Density of states on fractals:«fractons». *Journal de Physique Lettres*, 43(17):625–631, 1982.
- [2] Jan Andres, Jiří Fišer, Grzegorz Gabor, and Krzysztof Leśniak. Multivalued fractals. *Chaos, Solitons & Fractals*, 24(3):665–700, 2005.
- [3] Jan Andres and Miposlav Rypka. Multivalued fractals and hyperfractals. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 22(01):1250009, 2012.
- [4] Corine Astésano. *Rythme et accentuation en français: invariance et variabilité stylistique*. Editions L’Harmattan, 2001.
- [5] David Avnir, Ofer Biham, Daniel Lidar, and Ofer Malcai. Is the geometry of nature fractal? *Science*, 279(5347):39–40, 1998.
- [6] Michael F Barnsley, John E Hutchinson, and Örjan Stenflo. V-variable fractals: fractals with partial self similarity. *Advances in Mathematics*, 218(6):2051–2088, 2008.
- [7] Christopher J Bishop and Yuval Peres. *Fractals in probability and analysis*, volume 162. Cambridge University Press, 2017.
- [8] Marilyn G Boltz. Tempo discrimination of musical patterns: Effects due to pitch and rhythmic structure. *Perception & Psychophysics*, 60(8):1357–1373, 1998.
- [9] Nia Cason, Corine Astésano, and Daniele Schön. Bridging music and speech rhythm: Rhythmic priming and audio–motor training affect speech perception. *Acta psychologica*, 155:43–50, 2015.
- [10] Andrés E Coca, Gerard O Tost, and Zhao Liang. Controlling chaotic melodies. *Proc. Encuentro Nacional de Investigación en Posgrados (ENIP)*, 2009.
- [11] Grosvenor W Cooper, Grosvenor Cooper, and Leonard B Meyer. *The rhythmic structure of music*. University of Chicago press, 1963.
- [12] Joseph R Daniele and Aniruddh D Patel. An empirical study of historical patterns in musical rhythm: Analysis of german & italian classical music using the npvi equation. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 31(1):10–18, 2013.
- [13] Norberto Degara, Matthew EP Davies, Antonio Pena, and Mark D Plumbley. Onset event decoding exploiting the rhythmic structure of polyphonic music. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 5(6):1228–1239, 2011.
- [14] Norberto Degara, Antonio Pena, Matthew EP Davies, and Mark D Plumbley. Note onset detection using rhythmic structure. In *2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pages 5526–5529. IEEE, 2010.

- [15] Carolyn Drake and Caroline Palmer. Accent structures in music performance. *Music perception*, 10(3):343–378, 1993.
- [16] Antonio Galves, Jesus Garcia, Denise Duarte, and Charlotte Galves. Sonority as a basis for rhythmic class discrimination. In *Speech Prosody 2002, International Conference*, 2002.
- [17] Alex Goldsmith. Synthesising music: exploiting self-similarity using modular forms.
- [18] Abhijit Guha. Transport and deposition of particles in turbulent and laminar flow. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 40:311–341, 2008.
- [19] Erin E Hannon. Perceiving speech rhythm in music: Listeners classify instrumental songs according to language of origin. *Cognition*, 111(3):403–409, 2009.
- [20] Andre Holzapfel and Yannis Stylianou. Rhythmic similarity of music based on dynamic periodicity warping. In *2008 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pages 2217–2220. IEEE, 2008.
- [21] David Huron and Matthew Royal. What is melodic accent? converging evidence from musical practice. *Music Perception*, 13(4):489–516, 1996.
- [22] John E Hutchinson. Fractals and self similarity. *Indiana University Mathematics Journal*, 30(5):713–747, 1981.
- [23] John R Iversen, Aniruddh D Patel, and Kengo Ohgushi. Perception of rhythmic grouping depends on auditory experience. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(4):2263–2271, 2008.
- [24] Vijay Iyer, Jeff Bilmes, Matt Wright, and David Wessel. A novel representation for rhythmic structure. In *Proceedings of the 23rd International Computer Music Conference*, pages 97–100, 1997.
- [25] Jun Kigami. *Analysis on fractals*. Number 143. Cambridge University Press, 2001.
- [26] Cyrille Magne, Mitsuko Aramaki, Corine Astesano, Reyna Leigh Gordon, Sølvi Ystad, Snorre Farner, Richard Kronland-Martinet, and Mireille Besson. Comparison of rhythmic processing in language and music: An interdisciplinary approach. *Journal of Music and Meaning*, 3, 2005.
- [27] Benoit B Mandelbrot and Benoit B Mandelbrot. *The fractal geometry of nature*, volume 1. WH freeman New York, 1982.
- [28] Kevin Merges. *Fractals and art*. 2005.
- [29] Ihor Nabytovych. ФРАКТАЛИ ТА ФРАКТАЛЬНІ СТРУКТУРИ У ХУДОЖНЬОМУ ТЕКСТІ (на прикладі прози Л. Керрола, КС Льюїса та ХЛ Борхеса). *ВІСНИК ЛЬВІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ. Серія іноземні мови*, (18).
- [30] Katie Overy. Dyslexia and music: From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York academy of sciences*, 999(1):497–505, 2003.
- [31] Narayan Partap and Renu Chugh. Fixed point iterative techniques—an application to fractals. *International Journal of Research in Mathematics & Computation*, 4(1):1–7, 2016.
- [32] Aniruddh D Patel. Rhythm in language and music: parallels and differences. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1):140–143, 2003.
- [33] Aniruddh D Patel and Joseph R Daniele. An empirical comparison of rhythm in language and music. *Cognition*, 87(1):B35–B45, 2003.

- [34] Aniruddh D Patel and Joseph R Daniele. Stress-timed vs. syllable-timed music? a comment on huron and ollen (2003). *Music Perception*, 21(2):273–276, 2003.
- [35] Rohit Sunkam Ramanujam and Bill Lin. Randomized partially-minimal routing on three-dimensional mesh networks. *IEEE Computer Architecture Letters*, 7(2):37–40, 2008.
- [36] Franck Ramus. Acoustic correlates of linguistic rhythm: Perspectives. In *Speech Prosody 2002, International Conference*, 2002.
- [37] Dietmar Saupe. Algorithms for random fractals. In *The science of fractal images*, pages 71–136. Springer, 1988.
- [38] Xi Shao, Changsheng Xu, and Mohan S Kankanhalli. Unsupervised classification of music genre using hidden markov model. In *2004 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)(IEEE Cat. No. 04TH8763)*, volume 3, pages 2023–2026. IEEE, 2004.
- [39] Joyce L Shields, Astrid McHugh, and James G Martin. Reaction time to phoneme targets as a function of rhythmic cues in continuous speech. *Journal of Experimental Psychology*, 102(2):250, 1974.
- [40] Robert S Strichartz. Fractals in the large. *Canadian Journal of Mathematics*, 50(3):638–657, 1998.
- [41] Neil P McAngus Todd. Segmentation and stress in the rhythmic structure of music and speech: A wavelet model. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 93(4):2363–2363, 1993.
- [42] Wiebke Trost and Patrik Vuilleumier. Rhythmic entrainment as a mechanism for emotion induction by music: a neurophysiological perspective. *The emotional power of music: Multidisciplinary perspectives on musical arousal, expression, and social control*, pages 213–225, 2013.
- [43] Giuseppe Vitiello. The brain is like an orchestra. better yet, it is like a jazz combo, which doesn't need a conductor. *Chaos*, 11(1):2017, 2017.
- [44] Peter Vuust, Leif Ostergaard, Karen Johanne Pallesen, Christopher Bailey, and Andreas Roepstorff. Predictive coding of music–brain responses to rhythmic incongruity. *cortex*, 45(1):80–92, 2009.
- [45] Huang Wan-Li. The extremity laws of hydro-thermodynamics. *Applied Mathematics and Mechanics*, 4(4):501–510, 1983.
- [46] Kerri Welch. *A fractal topology of time: Implications for consciousness and cosmology*. California Institute of Integral Studies, 2010.
- [47] Wolfgang Wildgen. Chaos, fractals and dissipative structures in language. or the end of linguistic structuralism. *Gabriel Altmann und Walter A. Koch (Hg.), Systems. New Paradigms for the Human Sciences, de Gruyter, Berlin*, pages 596–620, 1998.
- [48] Marcel Zentner and Tuomas Eerola. Rhythmic engagement with music in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13):5768–5773, 2010.
- [49] Oleksandr Zhabenko. dobutokO-poetry. <https://hackage.haskell.org/package/dobutokO-poetry>.
- [50] Oleksandr Zhabenko. Phonetic languages approach to discovering preferred line options (phladiprelio) using Haskell.
- [51] Oleksandr Zhabenko. phonetic-languages-rhythmicity. <https://hackage.haskell.org/package/phonetic-languages-rhythmicity>.

- [52] Oleksandr Zhabenko. phonetic-languages-simplified-generalized-examples-array. <https://hackage.haskell.org/package/phonetic-languages-simplified-generalized-examples-array>.
- [53] П Івончак. Український силабо-тонічний вірш 50-х років XIX століття. *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Слов'янська філологія*, (585-586):80–84, 2012.
- [54] ГМ Білик. Короткий тематичний літературознавчий словник. Ч. III. Версифікація.
- [55] Смаглій Г. «Теорія музики : Підруч. для навч. закл. освіти, культури і мистецтв.». Х.: Вид-во «Ранок», 2013.
- [56] МИКОЛА ВАСИЛЬОВИЧ Гуцуляк. *Українське віршування 30-80-х рр. XVII ст.* PhD thesis, PhD thesis, «Теорія літератури». Чернівці: ЧНУ ім. Юрія Федьковича, 2017.
- [57] Наталія Костенко. ЕЛЕМЕНТИ ТОНІЧНОГО І СИЛАБІЧНОГО ВІРШУВАННЯ В ДУМОВОМУ ВІРШІ ТГ ШЕВЧЕНКА. *НАШ УКРАЇНСЬКИЙ ДІМ*, page 38.
- [58] АГ Кошовий and ГІ Кошовий. Одновимірні самоподібні фрактали та їх використання у моделюванні. 2011.
- [59] Оксана Валентинівна Кудряшова. *Functional poetics*. 2016.
- [60] ОВ Лазер-Паньків. та ін. ЛЛ Звонська, НВ Корольова. Ямбічна строфа. *Енциклопедичний словник класичних мов*, 2017.
- [61] ОВ Любімова. Відтворення античних розмірів в українській поезії 80-х–90-х років XIX століття. *Науковий вісник Чернівецького університету. Романо-слов'янський дискурс*, (565):190–193, 2011.
- [62] К Паладян. Початки силабо-тонічної версифікації в румунській літературі. *Питання літературознавства*, (81):164–172, 2010.
- [63] Аліна Татарська. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ФОНЕТИЧНОЇ СТРУКТУРИ ДВОСКЛАДОВИХ ПРИКМЕТНИКОВИХ КОМПОЗИТИВ СУЧАСНОЇ НІМЕЦЬКОЇ МОВИ. *Переяславська мовознавча толока: тези I Міжнародної науково-практичної конференції (м. Переяслав-Хмельницький, 19-20 вересня 2019 року) / Гол. ред. К. І. Мізін; – 250 с. (Електронна книга)*, page 123, 2019.
- [64] ВД Шарко. Актуальні проблеми природничо-математичної освіти в середній і вищій школі.
- [65] Роман Андрійович Шмиг, Віталій Мифодійович Боярчук, Іван Михайлович Добрянський, and Василь Михайлович Барабаш. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури. 2010.