

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет “Львівська політехніка”

**Чирун Любомир Вікторович**

УДК 004.934.5+517.524

**Розробка методів апроксимації трансферних функцій з використанням  
неперервних дробів в системах синтезу мови**

01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи

***АВТОРЕФЕРАТ***

*дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук*

Львів – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Фізико-механічному інституті ім. Г.В.Карпенка НАН України.

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор

**Русин Богдан Павлович,**

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Крапенка

НАН України,

завідувач відділом методів і систем обробки,

аналізу та ідентифікації зображень

**Офіційні опоненти:**

- доктор фізико-математичних наук, професор Слоньовський Роман Володимирович, Національний університет “Львівська політехніка”, професор кафедри прикладної математики
- доктор технічних наук, професор Саченко Анатолій Олексійович, Тернопільський національний економічний університет, завідувач кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління

**Провідна установа** – Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, відділ керуючих машин.

Захист відбудеться 16 квітня 2007 р. о 16 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. С.Бандери, 12).

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. С.Бандери, 12).

Автореферат розісланий “14” березня 2007 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,

доктор технічних наук, професор

Бунь Р.А.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На сьогодні системи синтезу мовних сигналів мають надзвичайно широке застосування у найрізноманітніших галузях нашого життя (стільниковий зв'язок, медицина, індустрія, комп'ютерні програми). Загалом існує два основних підходи до синтезу мови: конкатенативний і формантний синтез. Конкатенативний синтез оснований на об'єднанні сегментів записаної мови. Такий синтез породжує мову близьку до природньої, але вимагає великих затрат дискового простору для збереження сегментів мови і хороших алгоритмів згладжування і перенесення. Натомість формантний синтез (синтез за правилами) використовує акустичну модель для побудови синтезованої мови і не потребує бази звукових сигналів. Основними проблемами мовних синтезаторів є компроміс між максимізацією якості синтезованої мови та мінімізацією складності і швидкості обчислень. Отже, розроблення алгоритмів, що дадуть змогу спростити і прискорити синтез мовних сигналів, є актуальною задачею.

У процесі синтезу мови виникає потреба якнайкращим чином апроксимувати трансферні функції для отримання більш природньої синтезованої мови. Ефективна апроксимація трансферних функцій дає можливість усунути ефект коартикуляції і такі синтезатори можна використовувати для навчання систем розпізнавання мовних сигналів.

На сьогодні найбільш поширеними способами апроксимації є: апроксимація степеневими рядами, апроксимаційними многочленами. При апроксимації степеневими рядами не завжди вдається побудувати відповідний збіжний ряд, а побудова апроксимаційних многочленів високих порядків є складною задачею. Натомість пропонується як апарат апроксимації використати методи теорії неперервних дробів, які давно є відомі своїми хорошими апроксимаційними властивостями.

Розвинуті у роботі наукові положення базуються на доробку багатьох учених, зокрема Русина Б.П., Воробля Р.А., Скоробагатька В.Я., Хінчіна А.Я., Рашкевича Ю.М., Хлопоніна С.С., Кучмінської Х.Й, Шмойлова В.І., Парсонса Д., Перрона О., Боднара Д.І.

Тому розроблення обчислювальних методів ефективною апроксимації трансферних функцій в системах синтезу мовних сигналів з використанням методів теорії неперервних дробів, є актуальною науковою задачею.

**Зв'язок теми дисертації з цільовими програмами та планами перспективних наукових досліджень.** Задачі, які розглядалися в цій дисертаційній роботі, є складовою частиною наукових проектів, які здійснювались у відділі “Методи і системи обробки, аналізу та ідентифікації зображень” Фізико-механічного інституту ім.Г.В. Карпенка НАН України та на кафедрі інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка”.

Дослідження, висвітлені у дисертаційній роботі, здійснювались згідно з планом науково-дослідних робіт Фізико-механічного інституту ім.Г.В.Карпенка НАН України в рамках госпдоговору №2884 від 01.07.2000 “Розробка програмно-математичного забезпечення

дактилоскопічної ідентифікації автоматизованої дактилоскопічної інформаційно-пошукової системи UkrDacto” та держбюджетної теми “Розробка методів та алгоритмів підвищення якості оптичних зображень стосовно до задач діагностики матеріалів та елементів конструкцій” (номер держ. реєстрації 0100V004859) та Національного університету “Львівська політехніка” у рамках держбюджетних тем ДБ “ВЕБ” та ДБ/ІЗОМОРФ “Розроблення методів і засобів побудови інтелектуальних інформаційних систем на основі часових реляційних баз даних” (номер держ. реєстр. 0104U002299).

**Метою дисертаційної роботи** є розроблення методів ефективної апроксимації трансферних функцій з використанням неперервних дробів в системах синтезу мови, а також розроблення спеціальних процедур синтезу мовних сигналів, що оснований на запропонованих методах.

Мета дисертаційної роботи визначає необхідність розв’язання таких задач:

- здійснити аналіз функціонування систем синтезу мови;
- розробити методи сумування неперервних дробів “розбіжних” в класичному розумінні;
- розробити методи апроксимації, які оснований на неперервних дробах, та адаптувати їх до задач синтезу мови;
- здійснити апробацію отриманих результатів дисертаційних досліджень шляхом програмної реалізації процедур, що оснований на методах неперервних дробів.

**Об’єктом досліджень** є процедури системи синтезу мови.

**Предметом дослідження** є методи апроксимації трансферних функцій і побудова обчислювальних алгоритмів, на основі неперервних дробів в задачах синтезу мовних сигналів.

**Методи дослідження.** Дослідження, що виконані під час роботи над дисертацією, ґрунтуються на теорії систем синтезу мови, теорії неперервних дробів і об’єктно-орієнтованій методології аналізу та проектування систем синтезу мови.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розв’язанні науково-практичної задачі ефективної апроксимації трансферних функцій в системах синтезу мови, оснований на методах теорії неперервних дробів. Отримано такі нові наукові результати:

- вперше розроблено нові обчислювальні методи для апроксимації трансферних функцій в системах синтезу мовних сигналів з використанням неперервних дробів;
- обґрунтовано класифікацію неперервних дробів з використанням графів, що дало змогу краще зрозуміти структуру різних типів неперервних дробів і перспективу їх застосування при розробці мовних синтезаторів;
- запропоновано та обґрунтовано новий критерій збіжності неперервних дробів, що дає можливість на відміну від існуючих способів підсумовувати неперервні дробы, розбіжні в класичному розумінні;

- вперше запропоновано використання методів теорії неперервних дробів для апроксимації трансферних функцій в системах синтезу мови, що дало можливість зменшити час і підвищити точність у порівнянні з відомими методами.

**Практичне цінність** розроблених обчислювальних методів апроксимації трансферних функцій полягає в тому, що їх використання:

- дало можливість отримати вииграш по часу (2-3%) в системах синтезу мовних сигналів при апроксимації трансферних функцій;
- дало можливість підвищити точність апроксимації (похибка становить  $10^{-3} \div 10^{-6}$ ) за рахунок використання неперервних дробів;
- розроблено та створено прикладне програмне забезпечення для знаходження значень трансферних функцій в системах синтезу мовних сигналів.

**Впровадження результатів роботи.** Основні результати, отримані при виконанні дисертаційної роботи, застосовуються при синтезі мовних сигналів у ВАТ “Укртелеком” (м. Львів), НВПІ “Радіо Технічний Факультет” (м. Львів), а також в навчальному процесі Національного університету “Львівська політехніка” під час вивчення окремих розділів дисциплін: “Лінгвістичний сервіс перекладача”, “Математична лінгвістика”, “Методи приймання та обробки сигналів”.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на наступних семінарах та конференціях: XVI відкрита науково-технічна конференція молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України, КМН-2001, Львів, 2001р., Перша міжнародна конференція з індуктивного моделювання МКІМ-2002, Львів, 2002р., XVIII відкрита науково-технічна конференція молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України КМН-2003, Львів, 2003р.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати, подані у дисертації, одержані здобувачем особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: [1] – розроблено алгоритми визначення знаку комплексного числа; запропоновано  $r/\varphi$ -алгоритм для знаходження значень неперервних дробів, “розбіжних” у класичному розумінні, здійснено розрахунки за допомогою розроблених і програмно-реалізованих процедур; [2] – виконано побудову інформаційної моделі опрацювання сигналів з використанням методів теорії неперервних дробів; [4] – описано адаптивну модель синтезу голосових сигналів в цифровому сигнальному процесорі, запропоновано застосування неперервних дробів при реалізації цифрового сигнального процесора; [6] – запропоновано метод розв’язування систем алгебраїчних рівнянь за допомогою неперервних дробів.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 7 друкованих праць, з них 3 праці – одноосібні, 4 праці опубліковані у фахових наукових виданнях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літературних джерел та додатків. Робота містить 149 сторінок основного тексту, загальний обсяг дисертації — 163 сторінки, 33 рисунки, 101 найменування використаних літературних джерел.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність апроксимації трансферних функцій з використанням методів, які ґрунтовані на неперервних дробах для систем синтезу мови, показано її зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету та задачі досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про впровадження результатів роботи, особистий внесок автора та публікації.

**У першому розділі** наведено основні моделі та методи опрацювання та аналізу голосових сигналів, показано необхідність використання неперервних дробів для апроксимації трансферних функцій у моделях опрацювання та аналізу голосових сигналів. Визначено основні поняття теорії неперервних дробів, розглянуто поняття збіжності і розбіжності неперервних дробів на основі класичного підходу, показано зв'язок між класами неперервних дробів і графами. Здійснено порівняльну характеристику існуючих методів знаходження значень неперервних дробів для виявлення найкращих за швидкістю та мінімальною похибкою апроксимації.

**У другому розділі** описано основні моделі опрацювання та аналізу мовних сигналів, дано визначення лінійного предиктивного аналізу та предиктивного кодування. Описано методи мінімізації похибки для знаходження оптимальних значень коефіцієнтів моделей. Проаналізовано різні структури цифрових фільтрів для реалізацій голосових моделей. Лінійне предиктивне кодування найчастіше використовується в мовному синтезі, в передаванні чи збереженні мовних сигналів. Для цієї мети, зазвичай, використовують ідеальні коміркові структури моделювання голосового тракту людини. Загальна система голосового синтезу подана на рис.1.

Голосова модель, ґрунтована на косинус перетворенні Фур'є, для синтезу мови має кращі властивості і застосування, меншу чутливість до ефектів квантування і, в результаті, дає більш природну синтезовану мову у порівнянні з іншими моделями формантного синтезу. Параметрами цієї моделі є коефіцієнти косинус перетворення Фур'є.

Рис. 1. Система синтезу мови.

Модель базується на косинус розкладі логарифмічного короткочасового голосового діапазону і синтез реалізований наближеним оберненим косинус перетворенням Фур'є з використанням неперервних дробів. Цей підхід є параметричним і не оснований на жодних спрощувальних припущеннях про голосову модель, тому що полюси, як і нулі голосової моделі, є обґрунтовані.

Нехай маємо логарифмічний діапазон  $\ln|S(e^{j\omega T})|$  сегмента голосових даних  $\{s(n)\}$ , де  $T$  – вибірковий інтервал,  $\omega$  – кутова частота. Сегмент голосових даних може бути виражений з використанням дійсних коефіцієнтів косинус перетворення Фур'є  $\{c_n\}$

$$\ln|S(e^{j\omega T})| = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{-jn\omega T}.$$

Цифровий фільтр, логарифмічна величина відповідності якого апроксимує функцію  $\ln|S(e^{j\omega T})|$ , визначається системою трансферних функцій  $\tilde{S}(z) = e^{c_0} \exp \sum_{n=1}^{N_0-1} 2c_n z^{-n} = e^{c_0} \prod_{n=0}^{N_0-1} \exp[2c_n z^{-n}]$ .

Звідси випливає, що система трансферних функцій  $\tilde{S}(z)$  є добутком трансцендентних трансферних функцій

$$H_n(z) = e^{2c_n z^{-n}}, \quad 0 < n \leq N_0 - 1.$$

Це означає, що система трансферних функцій  $\tilde{S}(z) = e^{c_0} \prod_{n=0}^{N_0-1} H_n(z)$  має вигляд, представлений на рис.2.

Рис. 2. Голосова модель косинус перетворення Фур'є.

Для реалізації трансферної функції  $H_n(z)$  за допомогою цифрового фільтра, необхідно знайти апроксимацію  $H_n(z)$ , яку можливо практично реалізувати. Одним із варіантів апроксимації експоненціальної функції є неперервні дроби. Тоді система трансферних функцій в практичній голосовій моделі на основі косинус перетворення Фур'є має вигляд

$$\tilde{\tilde{S}}(z) = e^{c_0} \prod_{n=0}^{N_0-1} \tilde{H}_n(z).$$

Оскільки, в цифровій моделі, яка основана на косинус перетворенні Фур'є, коефіцієнти моделі часто є комплексними числами, то необхідно розглянути, як будуються неперервні дроби для апроксимації трансферних функцій цієї моделі.

Оскільки, запропонований в першому розділі  $r/\varphi$ -алгоритм дає змогу встановити лише модуль комплексного числа та модуль аргумента, то потрібно детальніше розглянути, як визначається модуль комплексного числа та його аргумент, для того, щоб розробити алгоритми визначення знаку аргумента комплексного числа в залежності від того, в якій півплощині знаходиться цей аргумент. Для цього використовується аналіз значень підхідних дробів неперервного дроби, котрий, у свою чергу, представляє коефіцієнт моделі.

Неперервний дріб можна просумувати, тобто знайти його значення з будь-якою заданою точністю на всій площині комплексної змінної, використовуючи значення підхідних дробів, якщо визначати збіжність неперервних дробів за запропонованим критерієм наступним чином:

Неперервний дріб є збіжним і має своїм значенням, в загальному випадку, комплексне число  $z = r_0 e^{i\varphi_0}$ , якщо існують границі

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \sqrt[s]{\prod_{i=1}^s |P_i/Q_i|} = r_0,$$

$$\pi \cdot \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{k_s}{s} = |\varphi_0|,$$

де  $P_i/Q_i$  - значення  $i$ -го підхідного дробу з множини, що включає  $s$  підхідних дробів,  $k_s$  - число від'ємних підхідних дробів з  $s$  підхідних дробів вихідного розкладу.

Знак аргумента  $\varphi_0$  може бути встановлений з аналізу характеру значень підхідних дробів шуканого розкладу, що дає можливість визначити напрямок обертання радіус-вектора.

Формула, що встановлює "відсоток" від'ємних підхідних дробів з загальної їх кількості, дозволяє обчислити лише модуль комплексного числа, що подане "розбіжним" неперервним дробом. Значення модуля аргумента комплексного числа, що встановлюється формулою, лежить в інтервалі  $0 \leq |\varphi| \leq \pi$ .

Щоб встановити знак аргумента комплексного числа, скористаємось інформацією, котру можна отримати, спостерігаючи динаміку в розподілі значень підхідних дробів, умовно кажучи, "на періоді". Алгоритм  $Z_1$  використовуємо, коли  $0 < |\varphi| < \pi/2$ . Блок-схема алгоритму  $Z_1$  представлена на рис.3.

Рис. 3. Блок-схема алгоритму  $Z_1$ .

У випадку, коли  $\pi/2 < |\varphi| < \pi$ , доцільним є використання алгоритму  $Z_2$ , блок-схема якого представлена на рис.4.

Рис. 4. Блок-схема алгоритму  $Z_2$ .

Зображені на рис.3, рис.4. алгоритми  $Z_1$ ,  $Z_2$  дають можливість визначити знак аргумента комплексного числа, що є важливим для подальшого використання неперервних дробів для апроксимації трансферних функцій в системах синтезу мовних сигналів.

**У третьому розділі** розглянуто питання побудови апроксимаційних многочленів для експоненціальної функції з використанням неперервних дробів. Показано, яким чином будуються апроксимаційні многочлени для апроксимації трансферних функцій моделі синтезу мови на основі косинус перетворення Фур'є. Побудовано апроксимаційні поліноми Фібоначчі, елементарні многочлени, поліноми Чебишева з використанням неперервних дробів, що дало можливість



зменшити час, необхідний для перерахунку трансферних функцій голосових моделей, та покращити точність їх обчислення. Наведено розклади експоненціальної функції в неперервні дробу по гіперболічному синусу, гіперболічному косинусу, тригонометричному косинусу.

Відомим є розклад Лагранжа експоненціальної функції  $e^x$  в неперервний дріб

$$e^x = 1 + \frac{x}{1-2} + \frac{x}{3-2} + \frac{x}{5-2} + \dots + \frac{x}{2n+1-2} + \dots \quad (1)$$

Еквівалентний неперервний дріб можемо записати у вигляді:

$$e^x = \frac{1}{1-1} + \frac{x}{2-3} + \frac{x}{3-5} + \dots + \frac{x}{2-2n+1} + \dots \quad (2)$$

Непарні підхідні дробу розкладів (1) і (2) співпадають.

Експоненціальну функцію дійсного і комплексного аргумента можна розкласти в періодичні неперервні дробу по гіперболічному синусу, гіперболічному косинусу і тригонометричному косинусу.

У результаті здійснених досліджень було зроблено порівняння способів обчислення значень функції  $e^x$  за допомогою неперервних дробу ряду Тейлора, апроксимаційних многочленів.

Розклад функції  $e^x$  в ряд Тейлора є наступним:

$$e^x = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{k!}$$

Зауважимо, що для елементарних функцій неперервні дробу є збіжні в ширшій області, ніж відповідні ряди Тейлора, а також забезпечують більшу швидкість збіжності. Для функцій, розклад яких в ряд Тейлора має загальний член порядку  $1/n!$ , апроксимаційні властивості ряду і неперервного дробу є близькими. У випадку ж функцій, розклад яких в ряд Тейлора має загальний член порядку  $1/n$ , апроксимація є ефективнішою, коли вона реалізується за допомогою неперервних дробу.

Табл.1 демонструє кількість членів неперервного дробу і степеневому ряду, що потрібні для отримання значення експоненціальної функції з необхідною точністю.

Таблиця 1. Кількість членів неперервного дробу і ряду Тейлора для отримання значення  $y = e^x$

Аргумент x	Спосіб апроксимації	Похибка			
		1,0E-03	1,0E-06	1,0E-10	1,0E-20
0,001	Неперервний дріб	2	2	3	6
	Ряд	2	3	5	7
0,01	Неперервний дріб	2	3	5	8
	Ряд	3	4	6	9
0,1	Неперервний дріб	2	5	7	11
	Ряд	4	6	8	13
0,2	Неперервний дріб	3	5	8	13
	Ряд	5	7	9	15

0,5	Неперервний дріб	5	7	10	16
	Ряд	6	9	12	18
0,9	Неперервний дріб	6	8	12	18
	Ряд	7	11	14	21
1	Неперервний дріб	6	9	13	19
	Ряд	8	11	15	22
2	Неперервний дріб	10	13	16	24
	Ряд	11	15	19	28
5	Неперервний дріб	15	19	22	29
	Ряд	19	24	30	38
10	Неперервний дріб	26	30	35	40
	Ряд	33	38	45	52

Інтерполяційна формула співставляє з функцією  $y(x)$  функцію відомого класу  $Y(x) \equiv Y(x, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ , залежну від  $n+1$  параметрів  $\alpha_j$ , вибраних таким чином, щоб значення  $Y(x)$  співпадали зі значеннями  $y(x)$  для заданої множини  $n+1$  значень аргумента  $x_k$  (вузлів інтерполяції):

$$Y(x_k) = y(x_k) = y_k.$$

Зауважимо, що, наприклад, параболічна інтерполяція на практиці ефективна лише для аналітичних функцій, і лише тоді, коли їх значення не є спотворені шумом (випадковими помилками). Випадкові помилки сильно спотворюють інтерполяційні многочлени високих степенів, а при інтерполяції многочленами низьких степенів втрачається суттєва інформація. Тому, при наявності випадкових помилок перевага надається апроксимації такими многочленами, котрі мінімізують або зважену середньоквадратичну похибку апроксимації, або максимум абсолютної похибки на всьому вибраному інтервалі  $(a, b)$ . Зауважимо також, що розклад в ряд Тейлора апроксимує аналітичну функцію лише в безпосередній близькості від однієї вибраної точки.

Для заданої функції  $y(x)$  потрібно побудувати функцію  $Y(x)$  вигляду  $Y(x) = a_0\varphi_0(x) + a_1\varphi_1(x) + \dots + a_n\varphi_n(x)$ , таким чином, щоб мінімізувати зважену середньоквадратичну похибку апроксимації на інтервалі  $(a, b)$ .

Апроксимація ортогональними многочленами має хорошу перевагу, яка полягає в тому, що покращення апроксимації шляхом додавання нового члена  $a_{n+1}\varphi_{n+1}(x)$  не змінює раніше обчислені коефіцієнти  $a_0, a_1, \dots, a_n$ . Підстановка  $x = \alpha z + \beta$ ,  $dx = \alpha dz$  дозволяє змінити масштаб чи зсунути інтервал, що розглядається.

Із табл. 2 видно, що серед апроксимаційних многочленів найкращу точність апроксимації дають многочлени Чебишева.

Таблиця 2. Абсолютна похибка апроксимації

Порядок многочлена	Похибка апроксимаційного многочлена			
	Чебишева	Лагерра	Лежандра	Ерміта
2	3,0E-03	5,0E-03	3,0E-04	2,0E-04
5	3,0E-05	7,0E-04	5,0E-05	5,0E-05
7	2,0E-10	5,0E-08	2,0E-08	3,0E-07

У зв'язку цим подальше порівняння ефективності апроксимації трансферних функцій з використанням неперервних дробів доцільно здійснювати саме з цим типом апроксимаційних многочленів.

**Четвертий розділ** присвячено програмній реалізації обчислювальних методів для апроксимації трансферних функцій. Для апроксимації трансферної функції необхідно реалізувати наступні дії: обчислити значення неперервного дробу, який її представляє, визначити значення модуля неперервного дробу, визначити значення модуля аргумента неперервного дробу, встановити знак аргумента.

Для визначення з достатньо високою точністю величини модуля та аргумента комплексного числа, який є значенням розбіжного в класичному розумінні неперервного дробу, необхідно використати досить довгі послідовності підхідних дробів. Тому, доцільним є використання тих алгоритмів обчислення значень неперервних дробів, котрі забезпечують мінімальні витрати часу для отримання довгих послідовностей значень підхідних дробів. У табл.3 перелічено основні алгоритми обчислення значень неперервних дробів та вказано їх характеристики.

Таблиця 3. Характеристики алгоритмів обчислення значень неперервних дробів

№	Алгоритм	К-сть операцій для обчислення дробу з n ланками				К-сть операцій для обчислення серії $\{P_i/Q_i\}$
		Додавання	Множення	Ділення	Загальна к-сть	
1	BR-алгоритм	n		n	2n	$n(n+1)$
2	FR-алгоритм	2n	4n	1	6n+1	7n
3	FR*-алгоритм	n	2n-1	1	3n	$2n^2$
4	Матричний	2n	4n	1	6n+1	7n
5	Континуант	2n	4n	1	6n+1	7n
6	Тейкроу	3n	3n	2n	8n	9n
7	$\Delta$ -алгоритм	3n	n	2n	6n	7n
8	$\psi/\varphi$ -алгоритм	2n	n	3n	6n	7n

Із аналізу табл.3 видно, що переліченим критеріям відповідають  $\Delta$ -алгоритм і  $\psi/\varphi$ -алгоритм. Тому надалі для знаходження значень серій підхідних дробів неперервного дробу доцільним є використовувати саме ці алгоритми.

Паралельно, виконуючи обчислення значення підхідних дробів розкладу неперервного дробу, що представляє трансферну функцію, визначаємо значення модуля та значення модуля аргумента неперервного дробу.

Блок-схема алгоритму апроксимації трансферної функції моделі синтезу мови має вигляд зображений на рис.5.

Рис. 5. Блок-схема алгоритму апроксимації трансферних функцій моделі синтезу мови.

Використання поданого на рис.5 алгоритму дає можливість ефективно апроксимувати трансферні функції в системах синтезу мовних сигналів. В результаті апроксимація трансферних функцій здійснюється з підвищеною точністю і за коротший час, у порівнянні з стандартними підходами, завдяки використанню запропонованих обчислювальних методів, які ґрунтуються на теорії неперервних дробів. Їх використання є доцільним у системах синтезу, які реалізуються на основі моделей формантного синтезу мовних сигналів. Запропоновані обчислювальні методи в подальшому можна використовувати і в інших задачах, що потребують ефективної апроксимації.

## ВИСНОВКИ

У роботі розв'язано важливу науково-технічну задачу апроксимації трансферних функцій в системах синтезу мови з використанням неперервних дробів, що дозволило збільшити точність апроксимації, скоротити час, необхідний для апроксимації коефіцієнтів голосової моделі за рахунок розроблених алгоритмів. В процесі виконання цієї роботи одержані наступні результати.

1. Здійснено порівняння різних підходів до синтезу мовних сигналів і встановлено, що для покращення точності і зменшення часу, необхідного на апроксимацію коефіцієнтів моделі синтезу мови, доцільніше для апроксимації трансферних функцій використовувати методи теорії неперервних дробів, а не існуючі підходи.
2. Запропоновано і обґрунтовано новий критерій збіжності неперервних дробів, який дає можливість на відміну від існуючих методів, підсумовувати неперервні дроби розбіжні в класичному розумінні.
3. Здійснено порівняльну характеристику всіх існуючих методів підсумовування неперервних дробів і встановлено, що найкращими є  $\Delta$ -алгоритм і  $\psi/\varphi$ -алгоритм відносно кількості обчислювальних операцій необхідних для знаходження значення неперервного дроби, що апроксимує трансферну функцію в системі синтезу мовних сигналів.
4. Вперше розроблено нові обчислювальні методи для апроксимації трансферних функцій в системах синтезу мовних сигналів, які на відміну від класичних дозволили підвищити точність апроксимації.
5. Обґрунтовано класифікацію неперервних дробів з використанням графів, що дало змогу краще зрозуміти структуру різних типів неперервних дробів і можливість їх застосування при розробці мовних синтезаторів.

- б. Розроблено та створено прикладне програмне забезпечення для знаходження значень трансферних функцій в системах синтезу мовних сигналів, яке дало можливість підвищити точність апроксимації трансферних функцій (похибка становить  $10^{-3} \pm 10^{-6}$ ) і отримати вииграш по часу апроксимації.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Шмойлов В.И., Чирун Л.В. Комплексные числа и непрерывные дроби.- Львов: Меркатор.- 2001.- 564с.

Чирун Л.В., Русин Б.П., Шмойлов В.И. Проектування інформаційної моделі обробки зображень з використанням теорії ланцюгових дробів // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Інформаційні системи та мережі.- №464.- Львів, 2002.- С. 295-301.

Чирун Л.В. Модель адаптивного синтезу мови в цифрових сигнальних процесорах на основі неперервних дробів // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Інформаційні системи та мережі.- №489.- Львів, 2003.- С. 307-315.

Чирун Л.В., Русин Б.П. Адаптивні алгоритми апроксимації коефіцієнтів моделі синтезу мовних сигналів // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика.- №522.- Львів, 2004.- С.109-114.

Chyrun L.V. Method for solving systems of linear algebraic equations with tree-diagonal matrix // Тези XVI Відкритої наук.-техн. конф. молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України, КМН-2001.- Львів, 2001.- С. 64.

Чирун Л.В., Кісь Я.П. Моделювання та розв’язок алгебраїчних рівнянь в нелінійних задачах // Тези Першої міжнар. конф. з індуктивного моделювання “МКІМ-2002”.- Львів, 2002.- Т.3.- С. 245-249.

Чирун Л.В. Модель розпізнавання голосових сигналів на основі неперервних дробів // Тези XVIII відкритої наук.-техн. конф. молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України КМН-2003.- Львів, 2003.- С. 239-243.

### АНОТАЦІЇ

**Чирун Л.В. Розробка методів апроксимацій трансферних функцій з використанням неперервних дробів в системах синтезу мови.-** Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.- Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2007.

Дисертація присвячена розробленню методів апроксимації трансферних функцій з використанням неперервних дробів в системах синтезу мови. Для досягнення поставленої мети

здійснено порівняльний аналіз систем синтезу мови, методів сумування неперервних дробів. Знайдено можливість використання апарату теорії неперервних дробів до задач синтезу мови. На основі цього запропоновано новий підхід до поняття збіжності неперервних дробів, розроблено новий алгоритм, що дає можливість сумувати неперервні дроби “розбіжні” в класичному розумінні. Також запропоновано алгоритми знаходження значень модуля і аргумента комплексних чисел за допомогою неперервних дробів. Розроблено алгоритми знаходження знаку аргумента комплексного числа на основі аналізу підхідних дробів неперервного дробу.

Використання неперервних дробів в задачах синтезу мови дало можливість покращити точність апроксимації трансферних функцій при зменшенні часу, який необхідний для перерахунку коефіцієнтів моделі синтезу мови.

Здійснено обчислювальні експерименти з апроксимації трансферних функцій з використанням запропонованого способу і порівняно результати з класичними способами. Порівняльний аналіз результатів показав, що запропонований спосіб є ефективнішим за класичні способи по простоті і зменшенню часу обчислень при необхідній точності апроксимації.

**Ключові слова:** системи синтезу мови, неперервні дроби, формантний синтез, авторегресивне моделювання, апроксимація з використанням неперервних дробів.

**Чирун Л.В. Разработка методов аппроксимации трансферных функций с использованием непрерывных дробей в системах синтеза речи.- Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы.- Национальный университет “Львовская политехника”, Львов, 2007.

Диссертация посвящена разработке методов аппроксимации трансферных функций с использованием непрерывных дробей в синтезе речи. Для достижения этой цели проведен сравнительный анализ систем синтеза речи, методов суммирования непрерывных дробей. Установлена возможность использования аппарата теории непрерывных дробей в задачах синтеза речи. На этом основании предложен новый подход к понятию сходимости непрерывных дробей, разработан новый алгоритм суммирования непрерывных дробей, “расходящихся” в классическом понимании. Также предложены алгоритмы нахождения значения модуля и аргумента комплексных чисел при помощи непрерывных дробей. Разработан алгоритм нахождения знака аргумента комплексного числа на основе анализа подходящих дробей непрерывной дроби.

Использование непрерывных дробей в задачах синтеза речи дало возможность улучшить точность аппроксимации трансферных функций при уменьшении времени, необходимого для пересчета коэффициентов модели синтеза речи.

Проведены численные эксперименты по аппроксимации трансферных функций с использованием предложенного способа и классических способов. Сравнительный анализ показал, что предложенный способ эффективнее классических по простоте реализации и уменьшению временных затрат при необходимой точности аппроксимации.

**Ключевые слова:** системы синтеза речи, непрерывные дроби, формантный синтез, авторегрессивное моделирование, аппроксимация с использованием непрерывных дробей.

**Chyrun L.V. Development of approximation methods of transfer functions with the use of the continued fractions in speech synthesis systems.** - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree by speciality 01.05.02 – mathematical modelling and calculate methods.- Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2007.

This thesis is devoted to development of methods of approximation of transfer functions with the use of the continued fractions in speech synthesis systems. To achieve dissertation aim the comparative analysis of speech synthesis systems and methods of the continued fractions calculation is conducted. Possibility of use of the continued fractions theory is found to the tasks of speech synthesis. On the basis of this, new approach to notion of the continued fractions convergence is offered, a new algorithm, that enables to find meaning of “non convergent” continued fractions in the classic understanding is developed. The algorithms of finding of values of the module and argument of complex numbers are also offered by means the continued fractions. The algorithms of finding the sign of complex number argument are developed on the basis of analysis of approach shots of the continued fraction.

The use of the continued fractions in the tasks of speech synthesis gave possibility to improve exactness of approximation of transfer functions at minimized time for the count of coefficients of speech synthesis model.

The calculate experiments on approximation of transfer functions with the use of the offered method with classic methods are conducted. The comparative analysis of results showed that the offered method was more effective than classic methods on simplicity and reduction of time of calculations at necessary exactness of approximation.

In the first chapter main models used for speech synthesi are analized. Main terms of continued fraction theory are presented. Comparitive analysis of the methods of finding the meaning of continued fraction is made. Possibility of use of continued fractions in speech synthesis is shown.

In the second chapter speech synthesis models for linear predictive analysis and synthesis are discussed. Different structures of digital filters used in speech representation are shown. Author as basis uses speech synthesis model based on cosine Fourier transform. To approximate transfer functions we propose to use their continued fraction expansions. As some functions have complex meaning we need to develop new approach to notion of the continued fractions convergence is offered, a new algorithm, that enables to find meaning of “non convergent” continued fractions in the classic understanding.

In the third chapter question of building approximation polynomials of transfer functions is discussed. With the use of continued fractions different approximation polynomial are constructed. This gave an opportunity to decrease time needed for transfer functions approximation and improve exactness of their approximation.

The fourth chapter is devoted to the development of new calculate methods, their programming and testing. New calculate methods can be used in speech synthesis systems to approximate transfer functions. Software to calculate the meaning of transfer function on the basis of continued faction expansion is developed and tested.

**Keywords:** speech synthesis systems, continued fractions, formant synthesis, avtoregressive modelling, continued fraction approximation.