

ВПЛИВ ФАЗОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ПОПЕРЕДНЮ ОБРОБКУ ГОЛОСОВОГО СИГНАЛУ В СИСТЕМІ АВТЕНТИФІКАЦІЇ

Пастушенко М.О., Пастушенко М.С., Петраченко М.О.

Кафедра математичних методів системного аналізу,
Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського", Україна.

Кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Україна.

E-mail: pastushenko.maksym@lil.kpi.ua,
mykola.pastushenko@nure.ua,
maksym.petrachenko@nure.ua

Abstract

The influence of phase information on voice signal preprocessing in user authentication systems is critical for enhancing accuracy. This study investigates noise suppression techniques using phase data, offering an improvement over traditional amplitude-frequency methods. The results demonstrate the advantage of incorporating phase signal data to reduce random and anomalous errors, contributing to more effective user authentication. The study outlines the mathematical modeling of noise suppression procedures and provides a comprehensive analysis of noise components in voice signals. The findings have both theoretical and practical implications for developing more reliable biometric authentication systems.

Вступ

Голосова автентифікація є важливою складовою біометричних технологій, що використовуються в системах контролю та управління доступом (СКУД). Одним із напрямків підвищення якості автентифікації є вдосконалення процедур попередньої обробки голосових сигналів, що включає врахування фазової інформації. Фазова інформація є суттєвим аспектом, який може значно підвищити точність розпізнавання голосу шляхом більш ефективного видалення шуму та компенсації помилок.

Використання фазової інформації

Для підвищення якості автентифікації в системах голосової автентифікації пропонується використовувати фазову інформацію голосового сигналу. Традиційні методи обробки базуються на амплітудних характеристиках сигналу, що не завжди дозволяє досягти високої точності в умовах шуму або змін середовища. Згідно з аналізом, представленим у роботі, врахування фазової інформації може покращити точність відновлення голосових сигналів шляхом більш точної апроксимації та компенсації випадкових і систематичних помилок на рис. 1 [1].

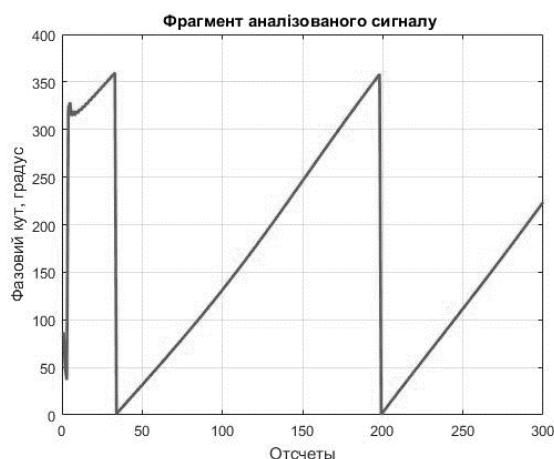


Рис. 1. Фрагмент даних фази (одна гармоніка)

Модель фазової інформації у системах автентифікації

Фазова інформація голосового сигналу може бути ефективно представлена через аналітичний сигнал, що дає можливість враховувати фазові зміни при обробці сигналу. Аналітичний сигнал є комплексним сигналом, де реальна частина збігається з оригінальним голосовим сигналом $S(t)$, а уявна частина $S_m(t)$ отримується шляхом застосування перетворення Гільберта до цього сигналу.

Перетворення Гільберта дозволяє створити уявну компоненту сигналу, яка разом із реальною частиною утворює аналітичний сигнал $Z(t)$. Аналітичний сигнал описується наступними формулами у частотній та часовій областях [2]:

$$Z(w) = S(w) + jS_m(w) \quad (1)$$

$$Z(t) = S(t) + jS_m(t), \quad (2)$$

де $S(w)$ та $S_m(w)$ – це спектри реальної та уявної складових сигналу відповідно. У часовій області уявна складова $S_m(t)$ отримується за допомогою перетворення Гільберта:

$$S_m(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S(\tau) d\tau}{t - \tau}, \quad (3)$$

Модуль аналітичного сигналу $Z(t)$ визначає огинаючу сигналу і описується формулою:

$$|Z(t)| = \sqrt{S^2(t) + S_m^2(t)}, \quad (4)$$

де $U(t)$ – огинаюча сигналу. Фазова інформація сигналу виражається як арктангенс відношення уявної частини до реальної:

$$\phi(t) = \arctg \frac{S_m(t)}{S(t)} \quad (5)$$

Ці формули дозволяють отримувати повну інформацію про фазовий стан сигналу в кожен момент часу, що є особливо корисним для завдань попередньої обробки в системах голосової автентифікації. Використання аналітичного сигналу дає можливість більш точно аналізувати та компенсувати фазові зміни, які можуть бути викликані шумом або іншими факторами, що впливають на якість сигналу.

Лінійна апроксимація фазової інформації

Для апроксимації пилоподібного сигналу фази використовується лінійне рівняння, яке проходить через дві крайні точки сигналу [3]. Це дозволяє спростити обробку фазової інформації та використовувати отримані дані для корекції помилок. Апроксимація та відповідні результати представлені на рисунку 2.

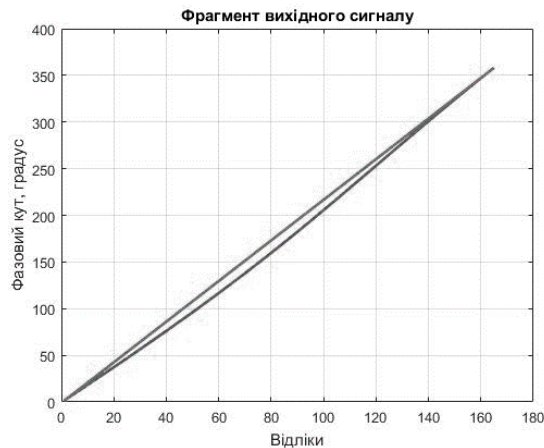


Рис. 2. Апроксимація фазового кута (одна гармоніка)

Недоліки використання χ^2 -квадрат для поліномів першого ступеня

Критерій χ^2 часто використовується для оцінки якості апроксимації сигналів, проте для поліномів першого ступеня він виявляється неефективним. Це пов'язано з тим, що критерій χ^2 -квадрат не має достатньої чутливості до невеликих відхилень у випадку лінійної апроксимації, особливо коли сигнал має лише одну гармоніку. Це можна побачити на рисунку 3, де значення критерію χ^2 -квадрат не задовольняють прийнятним вимогам.

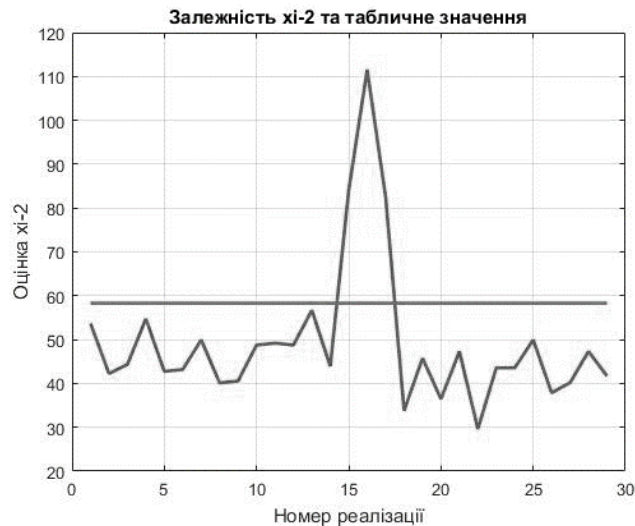
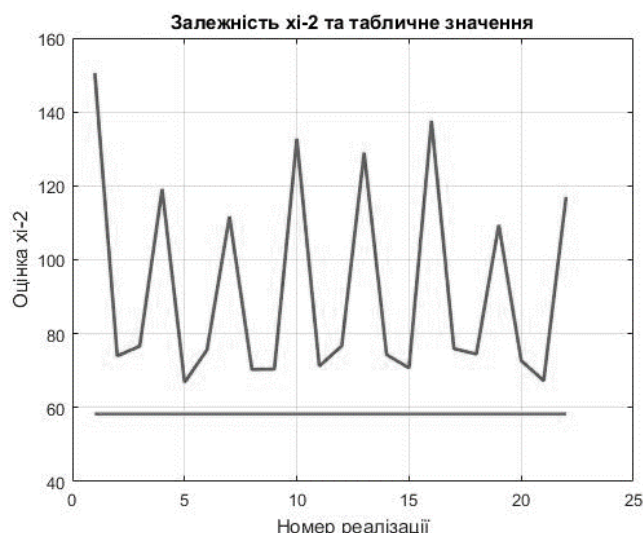


Рис. 3. Залежність оцінки критерію χ^2 (одна гармоніка)

Аналіз випадку з двома гармоніками

Для аналізу випадку з двома гармоніками (300 і 700 Гц) результати показують, що лінійна апроксимація не є ефективною для визначення зміни форми сигналу. Критерій χ^2 -квадрат в цьому випадку також не підходить для точної ідентифікації, що видно на рисунку 4. Використання оцінки середнього квадратичного відхилення (СКВ) є більш доцільним підходом.

Рис. 4. Залежність оцінки критерію χ^2 (две гармоніки)

Висновки

Фазова інформація голосового сигналу є важливим компонентом для підвищення ефективності систем автентифікації, оскільки вона містить додаткові характеристики, які можуть бути використані для точнішого розпізнавання голосу. Проте, лінійна апроксимація фази ефективна лише у випадках, коли сигнал представлений однією гармонікою, а для багатогармонійних випадків цей метод втрачає свою ефективність. У таких ситуаціях необхідні більш складні та точні методи оцінки фазових змін.

Дослідження показало, що критерій χ^2 є неефективним для оцінки апроксимації фазових даних за допомогою поліномів першого ступеня. Причина в тому, що цей критерій не враховує лінійного характеру таких поліномів, що призводить до неточних або неповних результатів оцінки.

Література

1. Pastushenko, M., Pastushenko, V., Pastushenko, O. (2019), "Specifics of Receiving and Pro-cessing Phase Information in Voice Authentication Systems", 2019 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, P. 621-624. DOI: <https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061260>
2. Pastushenko, M., Krasnozheniuk, Ya., Lemeshko, O. (2020), "Analysis of voice signal phase data informativity of authentication system", Proceedings of The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020), Zaporizhzhia, Ukraine, pp.1040-1053 April 27-May 1. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2608/paper78.pdf>
3. Clarification of Procedures for Voice Signal Pre-Processing in Authentication System Maksym Pastushenko, Mykola Pastushenko, Maksym Petrachenko 2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) 21-25 November 2023, Publisher: IEEE. Lviv, Ukraine. P. 182-186. DOI: 10.1109/AICT61584.2023.10452693