

УДК 621.39

О. М. Ткаченко, к. т. н., доц.;

О. Д. Феферман, асп.;

С. В. Хрущак, асп.

ДЕЛЬТА-УЩІЛЬНЕННЯ МОВЛЕННЄВИХ СИГНАЛІВ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ІНДЕКСІВ КОДОВОЇ КНИГИ

Розглянуто процес ущільнення мовних сигналів із використанням векторного квантування. Розроблено метод дельта-ущільнення з прогнозуванням наступного індексу квантованого значення в кодовій книзі. Проведено експериментальне дослідження розробленого методу.

Вступ

При передачі мови цифровими каналами зв'язку одним з найважливіших питань є обсяг інформації, який доведеться передавати за одиницю часу, щоб забезпечити якісний голосовий зв'язок. Ущільнення мови при її передачі зменшує обсяги даних, що передаються, та апаратні витрати. Це дозволяє знижувати ціни на послуги та долучати нових користувачів.

Переважна більшість алгоритмів ущільнення мови використовує модель лінійного прогнозування для опису та кодування сигналу, відповідно до якої спектральна інформація про сигнал описується 10 коефіцієнтами лінійного прогнозування (LPC) [1]. Для ефективнішого кодування та подальшої інтерполяції коефіцієнти LPC, як правило, перетворюють на лінійні спектральні пари (LSP) та квантують їх за допомогою кодових книг.

Коефіцієнти LSP, отримані в результаті кодування мови методом лінійного прогнозування, мають залежності між елементами як в середині фрейму так і між сусідніми фреймами, що говорить про високий рівень надлишковості при використанні даних коефіцієнтів [1]. Використання цієї надлишковості дозволяє зменшити обсяг даних, необхідних для опису параметрів мовного сигналу, і таким чином зменшити вимоги до пропускної здатності каналу передачі мовної інформації.

На рис. 1 подано значення коефіцієнтів LSP ($\omega_i[m]$) для 170 послідовних фреймів (m). На рисунку чітко видно залежність значень LSP як для послідовних фреймів, так і залежності між самими коефіцієнтами.

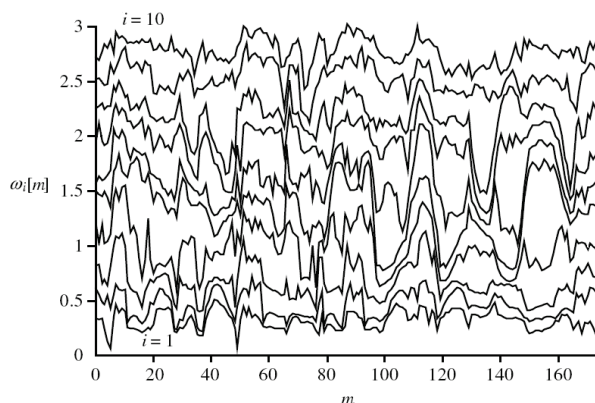


Рис. 1. Значення коефіцієнтів LSP для послідовних фреймів

Врахування кореляції між коефіцієнтами одного фрейму відбувається за рахунок використання векторного квантування коефіцієнтів LSP. При векторному квантуванні набір коефіцієнтів LSP розглядається як один вектор, для якого відбувається пошук найближчого квантованого значення у спеціальній таблиці — векторній кодовій книзі [1, 2].

Для врахування кореляції між послідовними фреймами в [3] запропоновано впорядкування векторів згідно з відношенням мажорювання, що дозволяє здійснити перехід до передачі різниці між індексами ($d = k_{i-1} - k_i$) послідовних фреймів [4]. Цей метод дозволяє досягти зменшення

обсягу інформації для опису параметрів мовного сигналу з 24 до 20 біт, проте вимагає внесення додаткової затримки (до 100 мс), що є небажаним у деяких системах зв'язку. З огляду на це пропонується метод дельта-ущільнення з прогнозуванням наступного відліку, який дозволяє отримати меншу затримку (20 мс) при несуттєвому збільшенні спектрального спотворення.

Метою статті є розробка методу дельта-ущільнення з прогнозуванням наступного індексу, який дозволяє зменшити обсяги даних про спектральну обвідну мовленнєвого сигналу за рахунок використання кореляції між послідовними фреймами.

© О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак, 2009

Постановка задачі

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- обрати метод для побудови екстраполюючої функції;
- розробити алгоритм корекції індексу поточного фрейму для випадку невірною прогнозу;
- провести експериментальне дослідження запропонованого методу.

Аналітична частина

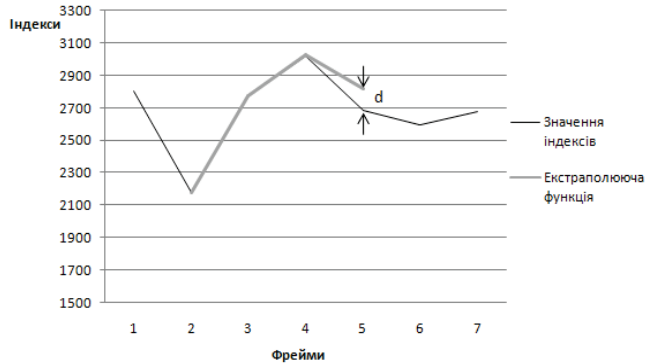


Рис. 2. Приклад роботи методу дельта-ущільнення з екстраполяцією

Для зменшення вікна різниці (дельти) між індексами сусідніх фреймів при досить малій затримці, порівняно з методом запропонованим в [3], пропонується прогнозування індексу фрейму на основі попередніх значень. Прогнозування відбувається шляхом створення екстраполюючої функції для індексів кількох фреймів на приймальній та передавальній стороні. При ущільненні на приймальну сторону також передається різниця між прогнозованим та реальним значеннями ($d = k_{i \text{ exp}} - k_{i \text{ pred}}$). Ілюстрацію роботи запропонованого методу подано на рис. 2.

Екстраполююча функція будується за методом найменших квадратів. Суть даного методу полягає в тому, що функція для опису експериментальних даних g будується як лінійна комбінація M базисних функцій F_j [5]:

$$g = \sum_{j=0}^{M-1} c_j F_j(x). \quad (1)$$

При цьому коефіцієнти c_j вибираються таким чином, щоб мінімізувати критерій $C_{\text{нмк}}$ — суму квадратів відхилень екстраполюючої функції від експериментальних значень

$$C_{\text{нмк}} = \sum_{i=1}^n (y_i - g_i)^2 \rightarrow \min C. \quad (2)$$

де y_i — експериментальна функція.

Досліджувалися також альтернативні методи — метод найменших модулів (МНМ) та метод Чебишева. Для МНМ критерієм мінімізації є сума відхилення модулів (3):

$$C_{\text{нм}} = \sum_{i=1}^n |y_i - g_i|. \quad (3)$$

Для методу Чебишева критерієм мінімізації є максимальне відхилення [4]:

$$C_{\text{мч}} = \max |y_i - g_i|. \quad (4)$$

Проте тільки метод найменших квадратів дозволяє знайти найкращі c_j за кінцеве число операцій, зводячи задачу до вирішення системи лінійних рівнянь. Це означає, що він є найбільш простим для обчислення, до того ж він точніше описує експериментальну функцію.

Введення затримки дозволяє корегувати значення індексів, що передаються. Це необхідно в ситуаціях, коли екстраполяція призводить до збільшення відстані між прогнозованим та реальним значенням (рис. 3).

У даному випадку ми маємо спрогнозувати індекс 5-го фрейму на основі попередніх — 2-го, 3-го та 4-го. Проте прогнозування

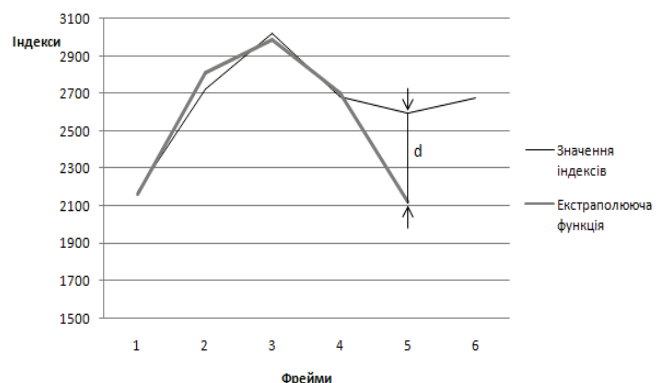


Рис. 3. Приклад збільшення похибки внаслідок прогнозування

тільки погіршило результат — значення дельти зросло.

У випадках, коли при передачі параметрів i -го фрейму значення дельти для $i + 1$ фрейму перевищує заданий розмір вікна $\left(|k_{i \text{exp}} - k_{i \text{pred}}| > \frac{\omega}{2} \right)$, застосовується такий алгоритм:

1. Здійснюється апроксимація значень експериментальної функції, враховуючи наступні значення індексів $i + 1, i + 2, \dots, i + t$, де t — величина затримки в фреймах. Для апроксимації також використовується метод найменших квадратів.

2. Відбувається корекція значення i -го індексу, згідно з апроксимуючою функцією для отримання кращого прогнозу значення індексу наступного фрейму.

3. Здійснюється прогноз $i + 1$ фрейму на основі попередніх фреймів $i, i - 1, i - 2, \dots, i - p$, де p — кількість фреймів для створення прогнозу, яка визначається порядком моделі прогнозування.

4. Якщо різниця між прогнозованим та реальним значенням не потрапляє в межі вікна, відбувається повторна корекція та перехід до п. 2. У випадку, коли при максимально допустимому відхиленні i -го фрейму прогноз залишається невдалим, відбувається перехід до п. 5.

5. Різниця між корегованим та прогнозованим значеннями індексів кодується та передається в канал зв'язку.

Результат роботи даного алгоритму можна бачити на рис. 4. Після корекції значення індексу для 4-го фрейму прогноз відбувається успішно — значення дельти залишається незначним.

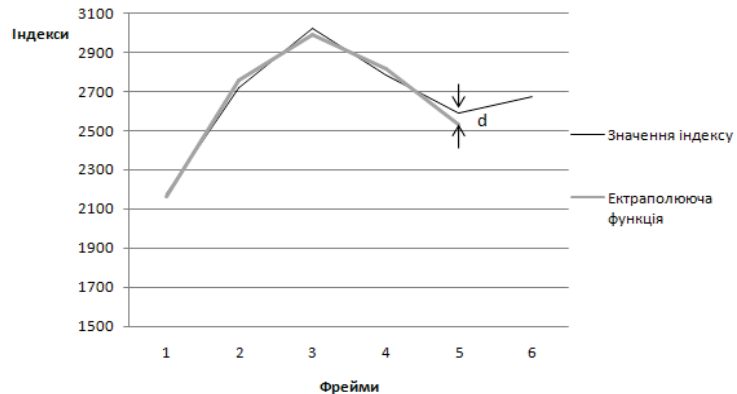


Рис. 4. Графіки експериментального та екстрапольованого значення індексів після виконання корекції

Експериментальні дослідження

Тестування методу прискореного пошуку векторів відбувалося на основі фонетичного матеріалу, який складався з двох фонетично повних текстів надиктованих десятьма дикторами [6]. Записані звукові файли спочатку ущільнювалися за методом LPC до швидкості 4800 біт/с, а потім LPC-параметри перетворювалися в LSP. Для досліджень було обрано кодову книгу з розбиттям 5 на 5 підвекторів та розміром по 4096 записів, значення вікна для передачі різниці між індексами — 1024.

При використанні розробленого методу, прогнозування здійснювалося шляхом створення екстрапольованої функції для індексів кількох фреймів. Досліджувалися декілька методів побудови екстрапольованої функції, а саме метод найменших квадратів (МНК), метод Чебишева та метод найменших модулів (МНМ).

Як критерій оцінювання методів використовувалися дисперсія розподілу ймовірності дельти між послідовними фреймами [7] та спектральне спотворення SD [8]. Результати оцінювання наведено в табл.

Результати дослідження методів екстраполяції для кодової книги розміром 4096 векторів

Метод екстраполяції	Дисперсія	SD , дБ	Відсоток фреймів, для яких $SD \in [2; 4]$ дБ, %	Відсоток фреймів, для яких $SD > 4$ дБ, %
МНК	21531,32	0,882	1,78	0
Метод Чебишева	31095,80	0,912	1,96	0
МНМ	141950,66	0,956	2,15	0

Як можна бачити з таблиці, найкращим за показниками дисперсії кінцевого розподілу та спектральним спотворенням є метод найменших квадратів. Для методу найменших модулів кількість фреймів зі спектральним спотворенням в межах 2...4 дБ перевищує максимально допустиме значення в 2 %, прийняте для систем низькошвидкісного ущільнення мови.

Висновки

Дослідження методу дельта-ущільнення з прогнозуванням показали, що його використання дозволяє зменшити кількість бітів для передачі параметрів мовних параметрів з 24 до 20 при затримці в 1 фрейм (20 мс) та незначному ($SD = 0,882$ дБ) спотворенні сигналу. З досліджених методів екстраполяції найточнішим виявився метод найменших квадратів, який також має найменшу обчислювальну складність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chu W. C. Speech Coding Algorithms — Foundation and Evolution of Standardized Coders / W. C. Chu. — New Jersey : Wiley. — 2003. — P. 553. — ISBN 0-471-37312-5.
2. Біліченко Н. О. LSF-вокодер на основі векторного квантування / Н. О. Біліченко, О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, [та ін.] // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2007. — № 1. — С. 35—41.
3. Біліченко Н. О. Швидкий пошук при векторному квантуванні лінійних спектральних частот / Н. О. Біліченко, О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, [та ін.] // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2007. — № 2. — С. 37—47.
4. Ткаченко О. М. Метод дельта-ущільнення мовних сигналів / О. М. Ткаченко., О. Д. Феферман, Хрущак С. В. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2008. — № 1(11). — С. 8—13.
5. Коваленко И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / И. Н. Коваленко, А. А. Филиппова — М. : Высшая школа, 1982. — 256 с.
6. Ткаченко О. М. Розробка кодових книг для вокодера на основі LSP / О. М. Ткаченко, О. Д. Феферман, С. В. Хрущак // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — № 2. — С. 219—223.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. — М. : Наука, 1969. — 576 с.
8. Atal S. Efficient Vector Quantization of LPC Parameters at 24 Bits / Frame / S. Atal, K. Palival // IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. — 1993. — Vol. 1, No. 2. — P. 3—14.

Рекомендована кафедрою обчислювальної техніки

Надійшла до редакції 8.09.08
Рекомендована до друку 20.10.08

Ткаченко Олександр Миколайович — доцент, **Феферман Олег Дмитрович** — аспірант, **Хрущак Сергій Вікторович** — аспірант.

Кафедра обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету