Підвищення ефективності пошуку векторів у кодовій книзі

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

Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
ant@vstu.vinnica.ua, oleg.feferman@gmail.com, hsv@mail.ru

Анотація

У статті розглянуто метод ущільнення мови із застосуванням векторних кодових книг. Розроблено метод впорядкування кодових книг із застосуванням теорії мажоризації та метод формування вікна пошуку у структурованій кодовій книзі. Проведено експерементальний аналіз розроблених методів.

1. Вступ

У сучасних системах цифрового зв'язку для ущільнення мови широко застосовуються методи лінійного прогнозування параметрів. При цьому для більш ефективного квантування та інтерполяції коефіцієнти лінійного прогнозування (LPC), як правило, перетворюють на лінійні спектральні частоти (LSF) [1-3].

При кодуванні LSF найкращі результати можна отримати за допомогою векторного квантування. Проте безпосереднє квантування 10-мірного вектора LSF-параметрів на практиці не використовується через надмірні витрати пам'яті та обчислювальну складність. Для зменшення витрат пам'яті та прискорення пошуку потрібного вектора у кодовій книзі в [4] запропоновано 10-вимірний вектор LSF розбивати на підвектори. У подальшому кожен підвектор кодується незалежно із застосуванням власної кодової книги. Проте повний пошук найближчого сусіда у неструктурованій кодовій книзі виявляється непридатним для багатьох практичних застосувань [5].

З метою зменшення часу пошуку в [6] було запропоновано декілька підходів до впорядкування векторів у кодовій книзі, названих авторами методами швидкого векторного квантування (fast vector quantization methods). Було показано, що складність обчислень при застосуванні наведених методів для кодової книги розмірністю 3x3x4 складає порядку 25% від складності обчислень при повному пошуку без суттєвої втрати продуктивності, що оцінювалася за спектральним спотворенням. Проте запропонованим підходам притаманні деякі недоліки, а саме:

1. Коректність отриманих результатів підтверджується лише експериментально. Немає впевненості, що задекларованe зменшення складності обчислень буде отримано для інших вхідних даних, а також для книг іншої розмірності, наприклад, 5x5.
2. Обчислювальні витрати залишаються достатньо великими для практичного застосування.

У даній роботі пропонується новий підхід до впорядкування векторів у кодовій книзі, що дозволяє досягти подальшого зменшення складності обчислень. Як і методи, запропоновані у [6], підхід базується на пошуку у структурованій кодовій книзі.

Кодову книгу розбито на m класів, що не перекриваються між собою. Кількість векторів у кожному класі може бути різною. Під час пошуку найближчого вектора спочатку визначається приналежність вхідного вектора X до одного з класів C_k, на які розбито кодову книгу. Слід зазначити, що пошук потрібного класу зводиться до простої процедури порівняння та не вимагає значних обчислювальних витрат. Після того, як знайдено необхідний клас, на другому етапі застосовується повний пошук найближчого до X вектора у множині векторів, що належать даному класу та у декількох сусідніх класах. Таку множину векторів у подальшому будемо називати вікном пошуку.

2. Математична модель упорядкування векторів за відношенням мажорування

Нехай задано вектори LSF $X=(x_1, x_2, ..., x_n)$, $Y=(y_1, y_2, ..., y_n)$, $Z=(z_1, z_2, \dots, z_n)$, $X, Y, Z \in \Re^n$. Розбиття кодових книг на класи згідно із заданим критерієм будемо називати структуризацією векторних кодових книг. Структуризація має на меті скорочення обчислювальних витрат на пошук квантованого вектора у кодовій книзі, що є найближчим до вхідного вектора X. При пошуку буде застосовуватися незважена евклідова метрика, де відстань D між векторами X і Y обчислюється за формулою

$$D^2(X,Y)=\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2. \qquad (1)$$

Дослідимо, за яких умов виконується

$$D(X,Y)\le D(X,Z). \qquad (2)$$

Для цього скористаємося нерівністю Карамати [7], згідно з якою для будь-якої опуклої функції $y=f(x)$, визначеної на деякому проміжку I, та будь-яких наборів чисел $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$, $B=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ з цього проміжку, що задовольняють умові $A \prec B$ ($\prec$ - відношення мажорування), справедливо

$$f(a_1)+f(a_2)+\dots+f(a_n)\le f(b_1)+f(b_2)+\dots+f(b_n). \qquad (3)$$

Вочевидь, функція (1) є опуклою. Провівши заміну $a_i=y_i-x_i$, $b_i=z_i-x_i$, можна показати, що (3) справедливо за умов виконання нерівностей:

$$\begin{cases} z_i - z_{i+1} \ge x_i - x_{i+1}, \\ y_i - y_{i+1} \ge x_i - x_{i+1}. \end{cases} \quad i=1, 2, \dots, n-1, \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{k} z_i \ge \sum_{i=1}^{k} y_i, \; k=1, 2, \dots, n. \qquad (5)$$

Нерівності (4) і (5) можна використати як критерій для структуризації кодових книг. Графічну інтерпретацію формування вікна пошуку при застосуванні (4) і (5) для структуризації кодових книг представлено на рис. 1

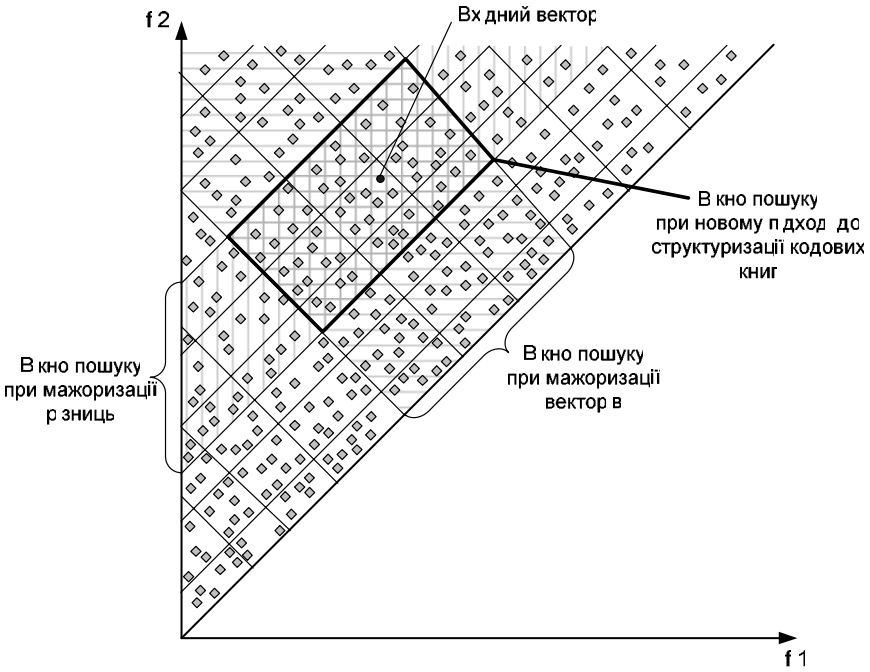

Рисунок 1: Графічна інтерпретація структуризації векторних кодових книг.

3. Впорядкування різниць компонентів векторів

Упорядкування, що задаються відношеннями (4) і (5), можна застосувати для побудови структурованих векторних кодових книг. Проте для довільних векторів критерій (5) не виконується. Тому введемо поняття рівнів мажоризації, відповідно до яких буде відбуватися розбиття на класи звичайної неструкутрованої кодової книги. Рівні мажоризації формуються за таким правилом. Будемо вважати, що рівень мажоризації L_i мажорується рівнем мажоризації L_j, якщо для кожного вектора X, що належить L_i, на рівні L_j знайдеться вектор Y, що слабо мажорує X, або формально

$$\forall X,\ X \in L_i,\quad \exists Y, Y \in L_j,\quad X \prec_w Y \Rightarrow L_i \prec L_j \quad (6)$$

Для довільних векторів критерій (4) також не виконується. Тому у роботі досліджувалися різні варіанти впорядкування із застосуванням різниць координат, крім критерію (4) (який називатимемо порівнянням різниць), а саме:

$$\sum_{i=1}^{n-1} z_i - z_{i+1} \geq \sum_{i=1}^{n-1} y_i - y_{i+1}\ . \quad (7)$$

Критерій (7) називатимемо мажоризацією різниць. Фактично від вектора координат розмірності n відбувається перехід до вектора різниць розмірності n-1, після чого відбувається мажоризація вектора різниць.

Можливо також застосування іншого критерію:

$$\left(\sum_{i=1}^{n-1} z_i - z_{i+1}\right) \geq \left(\sum_{i=1}^{n-1} y_i - y_{i+1}\right). \quad (8)$$

Критерій (8) називатимемо порівнянням сум різниць.

4. Дослідження різних підходів до впорядкування різниць компонентів

У таблиці 1 та на рис. 2 наведено результати досліджень різних підходів до впорядкування різниць компонентів для кодової книги 5x5 розмірністю в 4096 вектори. Для кожного методу обраховується відсоток пропущених векторів (M) та спектральне спотворення (SD). Як можна бачити, найкращі результати забезпечуються із застосуванням мажоризації різниць.

Таблиця 1: Дослідження. різних підходів до впорядкування різниць компонентів

Вікно пошуку (кількість векторів)	Мажоризація різниць		Порівняння різниц		Порівняння сум		Мажоризація векторів	
	M, %	SD, дБ	M, %	SD, дБ	M, %	SD, дБ	M, %	SD, дБ
100	23,88	0,8576	62,92	1,29	83,46	1,54	66,72	1,32
200	9,76	0,7965	36,07	0,8645	51,24	1,001	43,95	0,9412
300	5,23	0,7792	5,42	0,7798	30,7	0,8618	27,99	0,8595
400	2,92	0,7695	2,17	0,7695	18,42	0,8216	19,54	0,8554
500	2,04	0,7684	1,61	0,7674	10,52	0,8006	13,87	0,8125
600	1,32	0,7662	0,98	0,7661	6,26	0,7816	9,8	0,8034
700	0,97	0,7658	0,98	0,7661	3,57	0,7785	7,97	0,7868
800	0,83	0,7656	0,81	0,7654	2,03	0,7682	4,75	0,7796
900	0,55	0,7642	0,72	0,7652	1,16	0,7659	3,97	0,7791

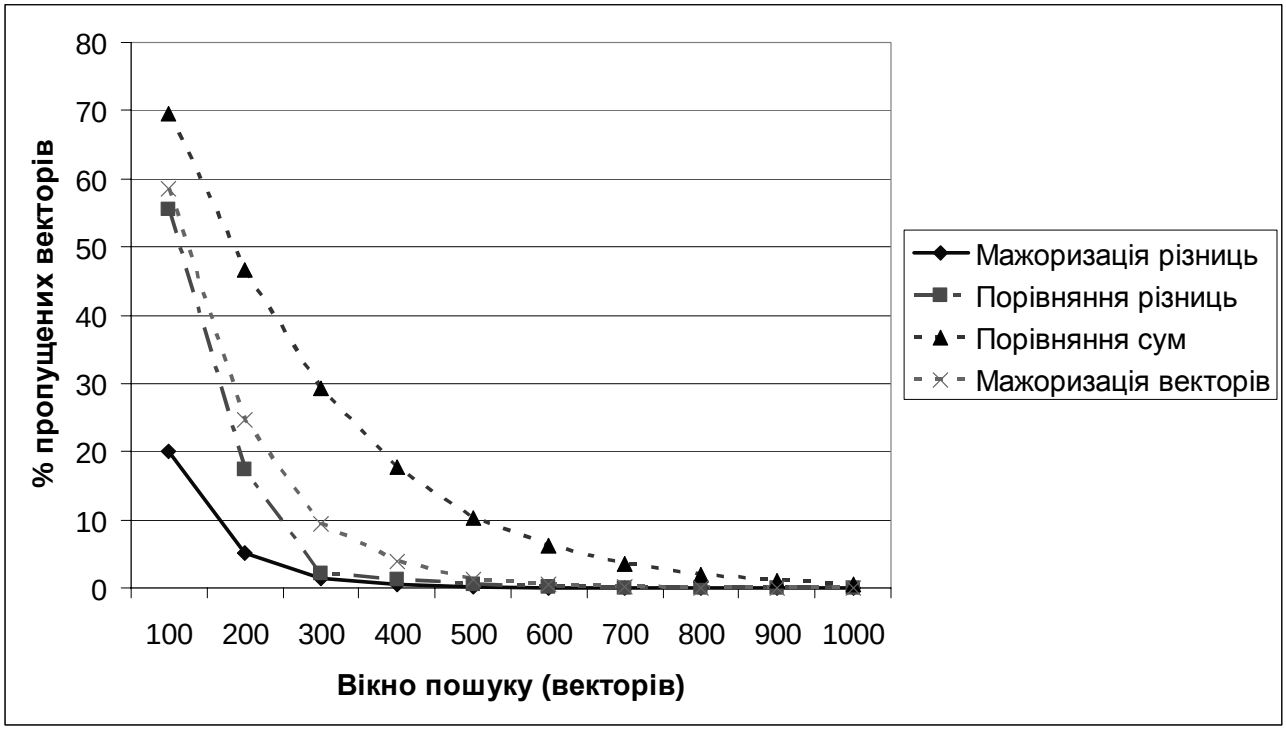

Рисунок 2: Порівняння різних підходів до впорядкування різниць компонентів

5. Висновки

Запропоновано метод структуризації кодових книг на основі відношення мажорування, що дозволило зменшити вікно пошуку. Запропоновано та досліджено різні підходи до впорядкування різниць компонентів векторів і показано, що найкращі результати досягаються при мажоризації різниць векторів. Запропонований підхід дозволив зменшити обчислювальну складність процесу пошуку найближчого вектора за рахунок скорочення вікна пошуку до 700 векторів без суттєвого збільшення спектрального спотворення.

6. Список літератури

[1] F. K. Soong and B. H. Juang Line Spectrum Pair (LSP) and speech data compression. – ISASSP, 1984. – pp. 1.10.1 – 1.10.4.

[2] F. K. Soong and B. H. Juang Optimal quantization of LSP parameters. – Proc. IEEE Inf. Conf. Acoust., Speech Signal Processing. – NewYork: 1988. – pp. 394 – 397.

[3] B. S. Atal, R. V. Cox, and P. Kroon Spectral quantization and interpolation for CELP coders. – Proc. IEEE Inf. Conf. Acoust., Speech Signal Processing. – Glasgow: 1989. – pp. 69 – 72.

[4] K. K. Paliwal and B. S. Atal Efficient vector quantization of LPC parameters at 24 bits/frame. – IEEE Transaction on Speech and Audio Processing, Vol.1, No. 2, 1993. – pp. 3 – 14.

[5] W. C. Chu. Speech Coding Algorithms. – John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2003. – 558 p.

[6] J. Zhou, Y. Shoham, and A. Akansu Simple fast vector quantization of the line spectral frequencies // Image Compression and Encryption Technologies, vol. 4551, 2001. – pp. 274-282.

[7] А. Маршалл, И. Олкин. Неравенства: теория мажоризации и ее приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 576 с.