

УДК 621.391:519.726

Б. Ю. ЖУРАКОВСЬКИЙ, д-р. техн. наук, професор,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

## МЕТОДИ ЕФЕКТИВНОГО КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

*Розглянуто методи ефективного кодування та адаптивні методи стиснення даних. Усі відомі методи стиснення поділяються на чотири групи: 1) раціональна вибірка даних; 2) ефективне кодування; 3) адаптивні методи; 4) виділення параметрів. Зокрема, методи ефективного кодування поділяються так: диференціальна імпульсно-кодова модуляція, дельта-модуляція та лінійна дельта-модуляція. Адаптивні методи базуються на адаптивній вибірці та адаптивному кодуванні. Адаптивна вибірка, у свою чергу, поділяється також на чотири групи: 1) селективний контроль параметрів системи; 2) контроль датчиків; 3) квантовий метод; 4) метод самоадаптації. Що ж до адаптивного кодування, то воно складається з адаптивної дельта-модуляції, методу адаптивних коефіцієнтів і методу Берча–Чілдерса. Розглянуто переваги і недоліки цих методів. Наведено класифікацію адаптивних методів стиснення та ефективного кодування. Усі зазначені методи допомагають досягати суттєвого стиснення даних.*

**Ключові слова:** методи адаптивного кодування; адаптивна вибірка; адаптивні методи стиснення; дельта-модуляція; метод Берча–Чілдерса; диференціальна імпульсно-кодова модуляція; методи стиснення.

### Вступ

Проблема скорочення обсягів передаваних даних постає в телекомунікаційних мережах, коли йдеться про передавання великих масивів вимі-

рювальної інформації та інформації контролю за станом об'єктів. При реєстрації процесів, що відбуваються з високою швидкістю, або коли доводиться передавати значні обсяги даних у системах

із великою кількістю абонентів, таких, скажімо, як промислові мережі, апаратура передавання даних іноді не в змозі забезпечити інформаційний обмін у необхідному темпі через те, зокрема, що інформація, яка надходить від датчиків, має, здебільшого, високу надмірність.

**Стиснення даних** — процедура зменшення надмірності повідомлення з метою скорочення його обсягу. У процесі стиснення усувається природна надмірність, притаманна практично будь-якому джерелу інформації [1–3]. При розгортанні (перед видачею інформації споживачеві) відбувається відновлення первинного повідомлення зі стисненого. Усунення надмірності досягається завдяки застосуванню ефективного кодування.

### Ефективне кодування

При ефективному кодуванні інформація передається та приймається в цифровому коді. У принципі будь-який із методів стиснення інформації дає економічний кодовий опис, якщо на виході пристрою стиснення застосувати перетворювач, котрий виконує імпульсно-кодову модуляцію (ІКМ) сигналу. Існує до того ж низка алгоритмів, де перетворення даних у код відбувається одночасно зі стисненням, тобто забезпечується високо-ефективне кодування. Розглянемо кілька таких алгоритмів (методів).

У деяких випадках є сенс передавати з деяким інтервалом

$$\Delta t = \frac{\pi}{\omega_{\max}} = \frac{1}{2f_{\max}} \quad (1)$$

не послідовність інформативних вибірок  $x_i, x_{i+n}, \dots = \{x_i\}$ , а різницеву послідовність, тобто послідовність відхилень  $e_i, e_{i+n}, \dots = \{e_i\}$ , де  $e_i = x_i - x_i^*$ .

Відновлення вихідного аналогового сигналу здійснюється у приймачі на базі послідовності  $\{e_i\}$  та відомого алгоритму стиснення. При цьому зменшується обсяг даних і підвищується швидкість передавання інформації по каналу зв'язку. Інший спосіб, який дає той самий результат, — нерівномірне квантування [4].

Головний недолік зазначених методів полягає в тому, що втрата будь-якої з передаваних вибірок у приймальному пристрої призводить до істотних помилок при відновленні сигналу.

**Диференціальна імпульсно-кодова модуляція (ДІКМ)** базується на тому принципі, що замість інформаційних вибірок передається послідовність відхилень від їхніх передвіщених значень, яка далі перетворюється в кодову послідовність  $\{b_i\}$ .

У разі припустимості апріорного задання процесу замість кодування різниці  $\{e_i\}$  між значеннями вибірок зручно кодувати різницю між дійсним і заданим процесами:

$$e(t) = x(t) - x^*(t).$$

Кодування функції  $e(t)$  відбувається з постійним кроком дискретизації  $\Delta t$ , а точність відновлення обмежується лише похибкою, яка вноситься кодувальним пристроєм. А якщо задати апертуру  $+(-)\epsilon$ , то кількість передаваних вибірок можна зменшити за рахунок кодування тільки значень  $x(t)$ , які виходять за межі допуску. Таке поєднання економічних методів дискретизації та кодування дає змогу досягти суттєвого стиснення інформації [5].

**Дельта-модуляція (ДМ)** виникає тоді, коли квантувальний пристрій має всього два рівні, причому кодується та передається послідовність відхилень  $\{e_i\}$ .

У системі з ДМ сигнал, що передається, може набувати одного з двох значень:  $+1$  або  $-1$ . Таким чином, кількість вибірок за секунду дорівнює кількості біт, що передаються за цей самий час.

Кодувальний або декодувальний пристрій здійснює оцінювання або передвiщування значення сигналу, яке базується на переданому до цього значенні вибірки. У разі відхилення дійсного значення  $x_i$  від прогнозованого  $x_i^*$  у бік збільшення на виході системи з ДМ створюється імпульс позитивної полярності ( $+1$ ); якщо  $x_i < x_i^*$ , то система формує негативний імпульс ( $-1$ ).

Таким чином, система реалізує умову

$$b_i = \begin{cases} +1 & \text{при } x_i > x_i^*, \\ -1 & \text{при } x_i < x_i^*. \end{cases} \quad (2)$$

Маємо лінійну ДМ, якщо значення сигналу в кожний момент вибірки прогнозується у вигляді деякої лінійної функції попередніх значень квантованого сигналу. Методи лінійної ДМ при обробці сигналів із високою надмірністю даних (телевізійні, мовні тощо) можуть забезпечувати досить ефективно стиснення інформації.

**Статистична дельта-модуляція (СДМ)** полягає в тому, що структура передавальної системи стиснення даних підганяється під статистичні якості вхідної інформації в такий спосіб, аби забезпечити відновлення вихідного сигналу з мінімальною середньоквадратичною похибкою.

Основу методу становлять пристрої з дискретно змінюваними значеннями  $\{\mu_i\}$  порогу на входи ( $\mu_i$  залежить від кількості  $n$  вибірок, що аналізуються, і часу  $t_i$ ) [6].

Відновлене аналогове значення  $i$ -ї вибірки має бути такого вигляду:

$$x_i^* = f(b_i, b_{i-1}, \dots, b_{i-n}). \quad (3)$$

Якщо  $b_i = +1$ , коли вибірка ближча до  $f_i(+1, b_{i-1}, \dots, b_{i-n})$ , і  $b_i = -1$ , коли вибірка ближча до  $f_i(-1, b_{i-1}, \dots, b_{i-n})$ , то для заданого виду модуляції похибка буде невелика. Рішення ухвалюється за результатом порівняння  $x_i$  з порогом  $\mu_i$ , значення якого дорівнює середньому арифметичному розглядуваних значень:

$$\mu_i = \frac{1}{2} \left[ f_i(-1, b_i-1, \dots, b_i-n) + f_i(+1, b_i+1, \dots, b_i+n) \right]. \quad (4)$$

Далі реалізується умова, подібна до (2):

$$b_i = \begin{cases} -1, & \text{при } \mu_i > x_i^*, \\ +1, & \text{при } \mu_i < x_i^*. \end{cases} \quad (5)$$

### Адаптивні методи

Адаптивні методи певною мірою копіюють одну з найважливіших властивостей всього живого — адаптацію, тобто властивість реагувати на зміну параметрів сигналу.

Класифікацію адаптивних методів зменшення надлишковості наведено на рисунку.

Основним показником належності алгоритмів до цієї групи слугує наявність залежності інтервалу  $\Delta t$  між вибірками від похідної часової функції [4].

Адаптивні методи використовуються як для отримання існуючих вибірок із передаванням їхніх дійсних значень, так і для отримання інформації у вигляді коду. Згідно з цим групу алгоритмів поділяємо на дві підгрупи: **адаптивна вибірка** і **адаптивне кодування** (див. рисунок).



Класифікація адаптивних методів зменшення надлишковості

### Адаптивна вибірка

Дієва адаптивна дискретизація має забезпечувати узгодження частоти вибірок зі швидкістю появи корисної інформації. Для цього знадобиться детектор інформативних компонентів сигналу, ефективність роботи якого визначатиметься раціональністю вибору критерію оцінювання інформативності.

У більшості відомих методів адаптивної дискретизації інтервал між вибірками є функція будь-якої однієї змінної, найчастіше це перша похідна сигналу:

$$\Delta t_i = f[x^*(t)]. \quad (6)$$

Зазвичай задаються певним значенням  $\epsilon_0$ , причому вибірка даних здійснюється в момент, коли

$$\left| \frac{dx}{dt} \right| > \epsilon_0. \quad (7)$$

Значення  $\frac{dx}{dt}$  часто знаходять наближено як тангенс деякого кута  $\alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta x_i}{\Delta t_i}$ , оскільки  $\tan \alpha \approx \frac{dx}{dt}$ .

Для визначення кута  $\alpha$  використовуються методи передвіщування та інтерполяції першого порядку [5].

Через це технічна реалізація алгоритму ускладнюється. І все ж такий підхід іноді ефективний.

Наприклад, для селективного контролю параметрів необхідно інформацію, яка надходить від кількох датчиків одночасно, передавати по одному каналу з мінімальною надлишковістю. Тоді розв'язання такої задачі здійснюється в два етапи.

1. Відбувається кусково-лінійна апроксимація кривих, які знімаються з датчиків, поліномом першого порядку.

2. З отриманих вибірок найістотнішою вважається та, яка має найбільшу вагу, що визначається значенням  $\alpha$ . Саме ця вибірка і підлягає передаванню.

Отже, до пункту приймання системи стиснення надходять лише ті дані, які фіксують суттєвий відхил від норми контрольованих параметрів об'єктів.

Якщо амплітудні характеристики сигналу залежать від місця розташування датчиків, то основна увага приділяється дослідженню часової послідовності екстремумів, а тому вибірки здійснюються в момент, коли  $x^*(t) = 0$ .

### Адаптивне кодування

У разі адаптивного кодування використовується залежність параметрів системи стиснення від похідних сигналу.

Розглянемо, наприклад, використання такої залежності в системах із ДМ.

Застосувавши в ДМ методи адаптації, дістанемо адаптивну ДМ.

Система з ДМ і нелінійним передвіщуванням, що адаптивно реагує на зміну крутизни вхідного сигналу, має низку переваг порівняно із системою, що характеризується лінійною ДМ.

Оскільки така система стиснення є саморегулювальною, вона забезпечує можливість кодування нестационарних (телевізійних, факсимільних тощо) сигналів оптимальним чином.

Адаптивна ДМ порівняно з ІКМ дозволяє скоротити смугу частот каналу (або знизити швидкість передавання повідомлень) для телевізійних сигналів.

Що ж до шумових характеристик адаптивної ДМ, то вони однакові для сигналів як із гауссовим, так і експоненціальним розподілом щільності ймовірностей.

**Метод Берча–Чилдерса**

Метод базується на використанні рядів Грама–Шарльє, де ортогональними базисними функціями є поліноми Ерміта [7]. Стиснення даних відбувається виділенням та кодуванням тільки часових характеристик сигналу. Неперервна функція  $x(t)$  перетворюється на послідовність прямокутних імпульсів із довжиною, що дорівнює часовим інтервалам між моментами переходу через нуль функції та її похідних — першої і другої. Амплітуда імпульсів при цьому постійна.

Неперервна функція, що зазнає перетворення, може бути синтезована. Для цього три послідовності імпульсів необхідно пропустити через інтегрувальні фільтри, об'єднати їх у спільному каналі, а далі згладити фільтром. Найбільш характерні вигини вихідної функції буде збережено у відновленій кривій, проте амплітудні значення кривої не зберігаються.

**Висновки**

Розглянуті адаптивні методи зменшення надлишковості забезпечують суттєве стиснення інформації.

Завдяки класифікації цих методів вдається чітко визначити, в яких випадках можливе підвищення ефективності здійснюваного кодування.

**Література**

1. *Ольховский, Ю. Б. Сжатие данных при телеизмерениях* / Ю. Б. Ольховский, О. Н. Новоселов, А. Б. Мановцев. — М.: Сов. радио, 1971. — 304 с.
2. *Шульгин, В. И. Основы теории передачи информации. Ч. I. Экономное кодирование: учеб. пособие* / В. И. Шульгин. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. — 100 с.
3. *Хохлов, Г. И. Элементы теории корректирующих кодов* / Г. И. Хохлов. — М.: МИРЭА, 1980. — 136 с.
4. *Жураковский, Б. Ю. Дослідження використання нових завадостійких кодів для каналів зі стиранням* / Б. Ю. Жураковский // Вісник ДУІКТ. — 2012. — Т. 10, № 2. — С. 93–96.
5. *Полторак, В. П. Полиномиальное кодирование информации в системах управления* / В. П. Полторак, Ю. П. Жураковский, Б. Ю. Жураковский // *Праці 5-ї Української конференції з автоматичного управління «Автоматика-98»: Київ, 13–16 травня 1998 р.* — Ч. IV. — К.: Вид-во НТУУ «КПІ», 1998. — С. 270.
6. *O'Neal, J. B. Delta-modulation quantizing noise analytical and computer simulation results for Gaussian and television signals* / J. B. O'Neal. — *Bell Sys. Tech. J.* — 1996, № 1. — P. 117–142.
7. *Концепция информации и биологические системы* / Пер. с англ. под ред. В. С. Гурфинкеля. — М.: Мир, 1966. — 327 с.

Б. Ю. Жураковский

**МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОГО КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

Рассмотрены методы эффективного кодирования и адаптивные методы сжатия данных. Все известные методы сжатия делятся на четыре группы: 1) рациональная выборка данных; 2) эффективное кодирование; 3) адаптивные методы; 4) выделение параметров. В частности, методы эффективного кодирования делятся следующим образом: дифференциальная импульсно-кодовая модуляция, дельта-модуляция и линейная дельта-модуляция. Адаптивные методы базируются на адаптивной выборке и адаптивном кодировании. Адаптивная выборка, в свою очередь, делится также на четыре группы: 1) селективный контроль параметров системы; 2) контроль датчиков; 3) квантовый метод; 4) метод самоадаптации. Что же касается адаптивного кодирования, то оно включает в себя адаптивную дельта-модуляцию, метод адаптивных коэффициентов, метод Берча–Чилдерса. Рассмотрены преимущества и недостатки этих методов. Приведена классификация адаптивных методов сжатия и эффективного кодирования. Все эти методы позволяют достигать существенного сжатия данных.

**Ключевые слова:** методы адаптивного кодирования; адаптивная выборка; адаптивные методы сжатия; дельта-модуляция; метод Берча–Чилдерса; дифференциальная импульсно-кодовая модуляция; методы сжатия.

B. Yu. Zhurakovsky

**METHODS OF EFFICIENT ENCODING OF INFORMATION**

The methods of effective coding of information and adaptive methods of compression of information are considered in the article. All known compression methods are divided into four groups: a rational selection of data, efficient coding, adaptive methods, the selection of parameters. The greatest attention is paid to efficient encoding and adaptive data compression method. Methods of efficient encoding in turn divided into a differential pulse code modulation, delta modulation and delta-linear modulation. Adaptive methods based on adaptive sampling and adaptive coding. In turn, the sample is divided into an adaptive selective control of system parameters, control sensor, the quantum method and self-adapting. By adaptive coding are adaptive delta modulation, adaptive coefficient method, the method of Birch–Childers. There are the advantages and disadvantages of these methods. There is a classification of adaptive methods of compression and efficient coding. All of these techniques help to achieve significant data compression.

**Keywords:** methods of adaptive coding; adaptive sampling; adaptive compression method; delta modulation method Birch–Childers; differential pulse code modulation; compression methods.