

УДК 621.37(0.45)

## ОПТИМІЗАЦІЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

**О. І. Давлетьянц**, д-р техн. наук, проф., **О. М. Борейчук**, **О. І. Василенко**,  
**О. О. Євсєєв**, **В. Т. Кривоус**

Національний авіаційний університет

Jiyu@i.ua

*Задля зниження похибки аналого-цифрового перетворення запропоновано використання методу попереднього нелінійного перетворення, яке описується функцією розподілу сигналу, що перетворюється. Наведено приклади та результати статистичного моделювання процесів перетворення.*

**Ключові слова:** сигнал, похибка, аналого-цифрове перетворення, функція розподілу, компресія, статистичне моделювання.

*To reduce miscalculations of analog-to-digital conversion method it is offered to use the preliminary method of nonlinear transformation which describes the distribution function of the signal being converted. The examples and results of statistical modeling of transformation processes are given below.*

**Keywords:** signal, miscalculation, analog-to-digital conversion, distribution function, compression, statistic simulation.

### Вступ

Під час перетворення неперервного (аналогового) сигналу в дискретний, завжди, навіть за повної відсутності завад, з'являється похибка квантування, пов'язана з обмеженістю розрядної сітки АЦП (аналого-цифрового перетворювача).

Це призводить до спотворення переданого сигналу і створює значні труднощі в розумінні та оцінюванні отриманого повідомлення.

Також на якість повідомлень значно впливають різноманітні шуми та завади.

Оптимізація аналого-цифрового перетворення налаштована на зменшення впливу цих чинників та якомога більше наближення отриманої копії сигналу до його оригіналу.

### Постановка проблеми

Перетворення сигналу в разі його надходження до АЦП (використовуючи методи математичного аналізу) є одним зі способів досягнення оптимізації перетворень.

Суть використання даного методу полягає в тому, що будь-який сигнал, який має нерівномірний розподіл, можна перетворити до сигналу з розподілом рівномірним.

Як пряме нелінійне перетворення використовується крива функції розподілу процесу, що перетворюється.

Таким чином, до АЦП передаватиметься вже змінений сигнал, який буде рівномірно розподілятися на розрядній сітці, що дасть змогу зменшити похибку квантування.

Однак, при відтворенні сигналу, необхідно буде виконати зворотне нелінійне перетворення, що приведе до вихідного, початкового розподілу.

### Аналіз попередніх досліджень

Окремим випадком розглянутої оптимізації є широко розповсюджені закони  $A$  і  $\mu$  компресії, які застосовуються для перетворення мовного сигналу. Вони були отримані експериментальним шляхом і націлені на слухове оцінювання людиною. Застосування цих законів пов'язане із логарифмічною чутливістю нашого слуху.

$A$  і  $\mu$  — додатні коефіцієнти.  $\mu$ -рівнева характеристика компресії використовується в США та Японії. Для сигналу  $x$   $\mu$ -закон визначається формулою:

$$y(x, \mu) = \frac{\ln\left(1 + \mu \frac{|x|}{x_{\max}}\right)}{\ln(1 + \mu)} \operatorname{sgn}(x),$$

де  $\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } \delta \geq 0; \\ -1 & \text{якщо } \delta < 0. \end{cases}$

Основне значення коефіцієнта — 255. При значенні 0 характеристика стає рівномірною.

$A$ -рівнева характеристика компресії використовується в Європі. Для сигналу  $x$  вона визначається як:

$$y(x, A) = \begin{cases} \frac{A \frac{|x|}{x_{\max}}}{1 + \ln(A)} \operatorname{sgn}(x) & 0 \leq \frac{|x|}{x_{\max}} \leq \frac{1}{A}; \\ \frac{1 + \ln\left(A \frac{|x|}{x_{\max}}\right)}{1 + \ln(A)} \operatorname{sgn}(x) & \frac{1}{A} < \frac{|x|}{x_{\max}} \leq \infty. \end{cases}$$

Її стандартне значення — 87.6, при значенні 1 характеристика також стає рівномірною.

**Постановка завдання**

Розглянемо оптимізацію аналого-цифрового перетворення різних видів сигналів з використанням визначеного методу. Знайдемо доцільність використання подібної методики, її переваги та недоліки.

**Розподіл Релея**

Загальний вигляд сигналів з розподілом Релея зображений на рис. 1.

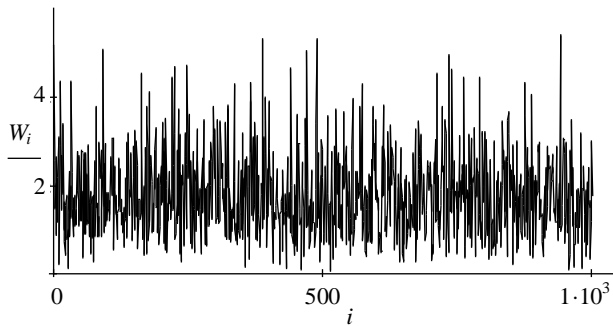


Рис. 1. Сигнал з розподілом Релея

*Основні характеристики сигналу*

Щільність розподілу визначається за формулою:

$$f(x, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad x \geq 0, \quad \sigma > 0. \quad (1)$$

Графічне зображення щільності розподілу зображено на рис. 2.

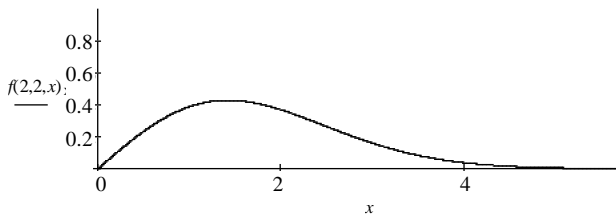


Рис. 2. Щільність розподілу сигналу

*Функція розподілу сигналу:*

$$F(X \leq x) = 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad x \geq 0. \quad (2)$$

Графічне зображення функції розподілу подано на рис. 3.

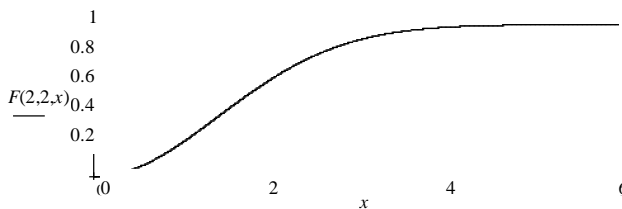


Рис. 3. Функція розподілу сигналу

Переданий без перетворень сигнал, зображений на рис. 1, розподілятиметься на розрядній сітці АЦП нерівномірно (рис. 4). Зменшення похибки квантування у цьому випадку може бути досягнуто шляхом нерівномірного розміщення рівнів квантування, з урахуванням щільності розподілу процесу.

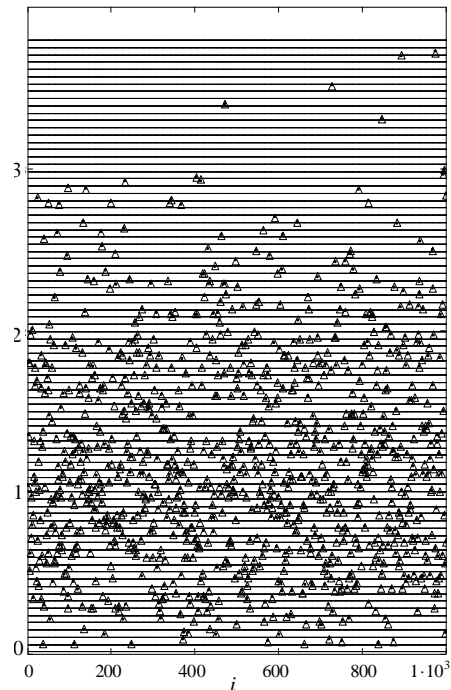


Рис. 4. Нерівномірний розподіл сигналу на розрядній сітці АЦП

Інший випадок – запропонована методика – подання на вхід АЦП попередньо перетвореного сигналу. Використавши криву функції розподілу (2), отримаємо рівномірний сигнал. Його розподіл на розрядній сітці зображено на рис. 5.

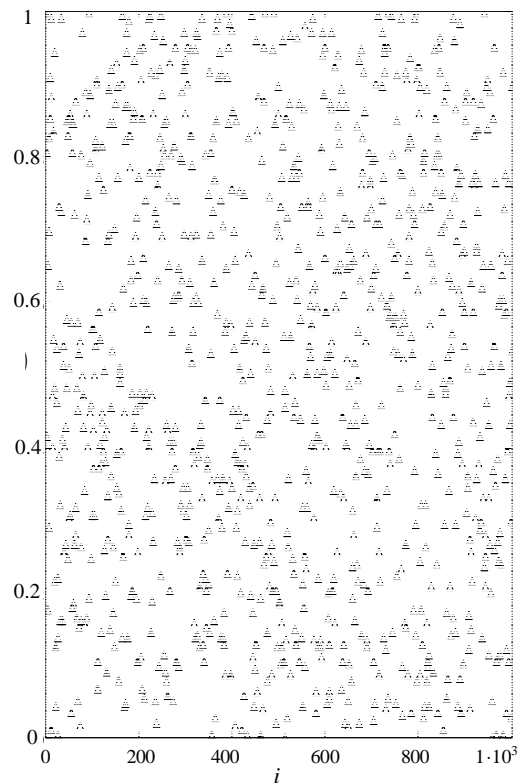


Рис. 5. Рівномірний розподіл сигналу на розрядній сітці АЦП

Для отримання копії переданого сигналу необхідно виконати зворотне перетворення.

Використовуючи обернену функцію розподілу:

$$y = \sigma \sqrt{-21n(1-x)}. \quad (3)$$

графічне зображення якої подано на рис. 6, отримуємо сигнал. Його порівняння з оригіналом зображено на рис. 7.

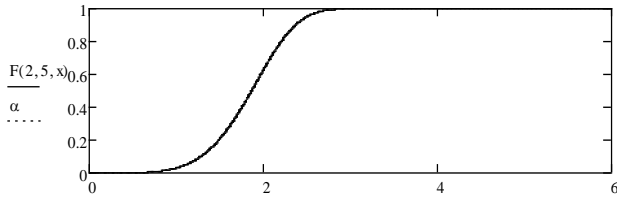


Рис. 6. Обернена функція розподілу

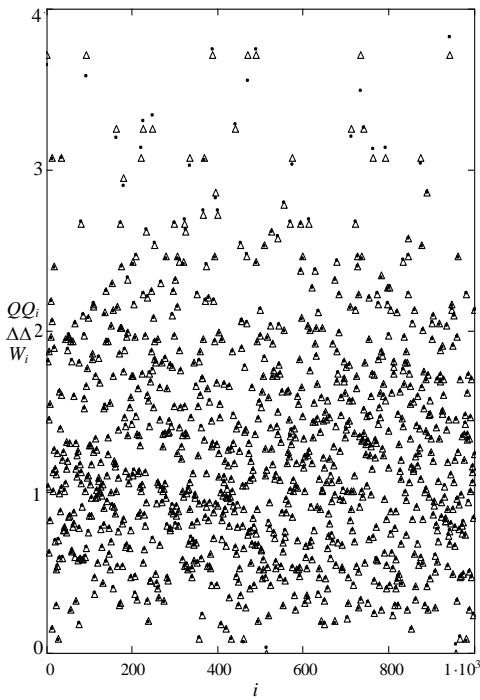


Рис. 7. Порівняння оригіналу та копії сигналу в АЦП

Як видно з рис. 7, копія сигналу є наближеною до оригіналу. Деякі похибки трапляються лише в області великих амплітуд.

**Бі-модальний розподіл**

Загальний вигляд сигналів з бімодальним розподілом зображено на рис. 8.

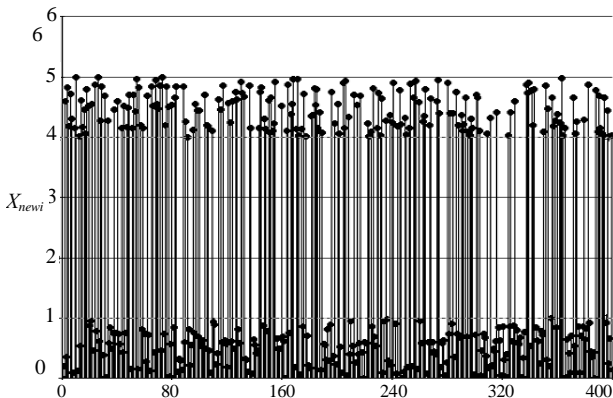


Рис. 8. Сигнал з бі-модальним розподілом

*Основні характеристики*

Графічне зображення щільності розподілу зображено на рис. 9.

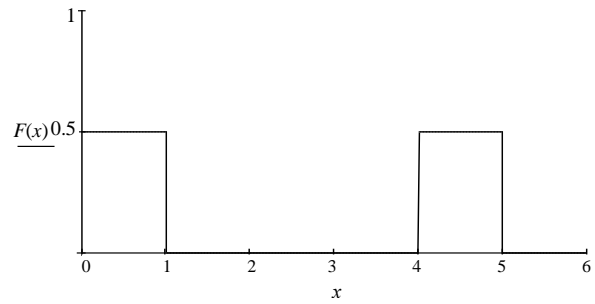


Рис. 9. Щільність розподілу сигналу

Графічне зображення функції розподілу показано на рис. 10.

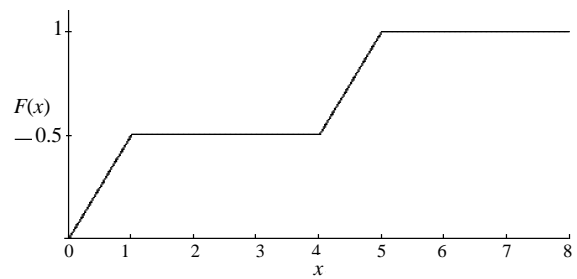


Рис. 10. Функція розподілу сигналу

Переданий без перетворень сигнал, зображений на рис. 8, розподілятиметься на розрядній сітці АЦП нерівномірно (рис. 11). Значення сигналу будуть розміщуватися на проміжках амплітуд від 0 до 1 і від 4 до 5. У той час як область значень від 1 до 4 взагалі задіяна не буде.

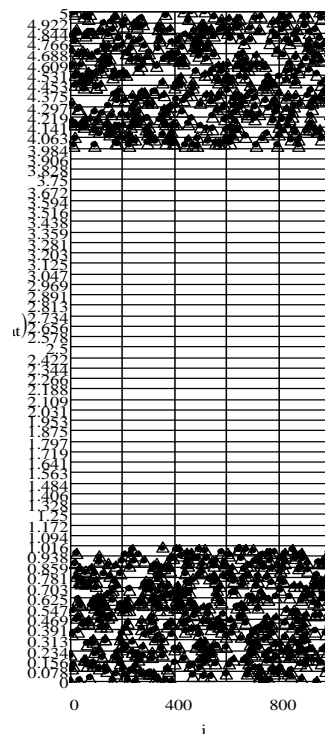


Рис. 11. Нерівномірний розподіл сигналу на розрядній сітці АЦП

Використавши криву функції розподілу (рис. 10), отримаємо рівномірний сигнал, який займатиме область амплітудних значень від 0 до 1 (рис. 12).

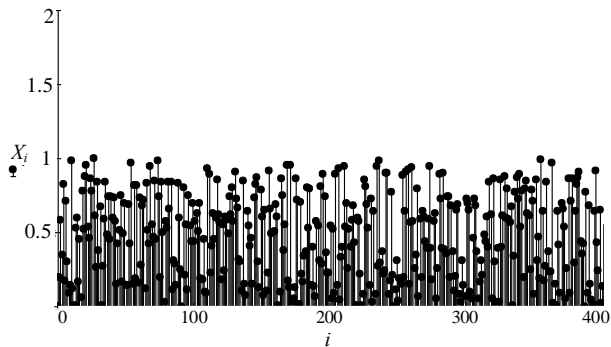


Рис. 12. Рівномірний сигнал

Відповідно, на розрядній сітці АЦП перетворений сигнал з бі-модальним розподілом розподілятиметься рівномірно (рис. 13).

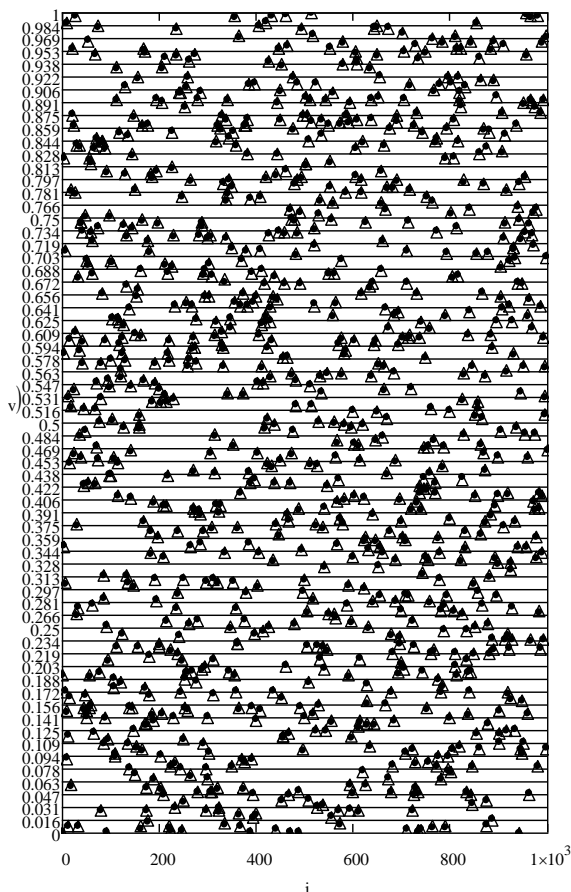


Рис. 13. Рівномірний розподіл бі-модального сигналу на розрядній сітці АЦП

Для отримання копії переданого сигналу необхідно виконати зворотне перетворення, використовуючи обернену функцію розподілу, графічне зображення якої подано на рис. 14.

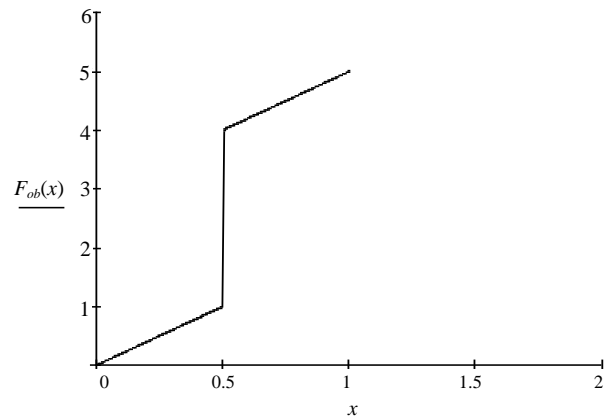


Рис. 14. Обернена функція розподілу

Отриманий на виході сигнал зображено на рис. 15.

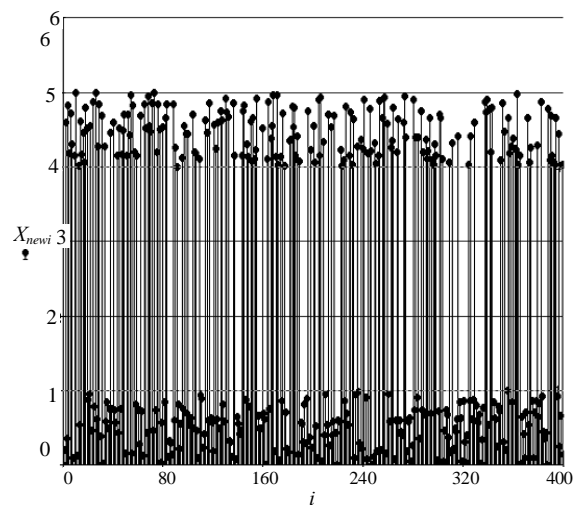


Рис. 15. Отримана копія сигналу

Похибка квантування даного сигналу, що подається на вхід АЦП без перетворень, розраховується за формулою:

$$D_{i \text{ ädäo}} = \frac{1}{1000} \sum_{z=0}^{999} (\Delta_{i \text{ ädäo}})^2,$$

де 1000 — кількість значень вибірки;  $\Delta_{i \text{ ädäo}}$  — різниця векторів сигналу до  $i$  після перетворення в АЦП.

Таким чином, обчисливши формулу, отримаємо значення шуму (похибки квантування):

$$D_{i \text{ ädäo}} = 3,218 \cdot 10^{-5}.$$

Похибка квантування сигналу, що подається на вхід після перетворення:

$$D_{i \text{ ädäo}} = \frac{1}{1000} \sum_{z=0}^{999} (\Delta_{i \text{ ädäo}})^2;$$

$$D_{i \text{ ädäo}} = 1,276 \cdot 10^{-6}.$$

Отже, виграш, який отримуємо внаслідок перетворення сигналу, становитиме:

$$\frac{D_{1\text{ дддд}}}{D_{1\text{ ддд}}} = 24,508. \quad (4)$$

Копія сигналу, що передавався з перетвореннями, в 24,5 разів краща за копію сигналу передану без перетворень.

Теоретично розрахований виграш становить:

$$\frac{D_1}{D_2} = 25.$$

Різниця між практично отриманими значеннями виграшу та теоретично розрахованими — невелика. Перетворення сигналу відбулося без спотворень і повністю виправдало сподівання.

### Висновки

На основі отриманих даних можна визначити, що даний спосіб є дійсним для зниження похибки квантування або для зменшення розрядності квантування без зміни похибки, що дозволяє збільшити ефективність використання каналу зв'язку. Виграш від використання даного методу тим більший чим більше відрізняється розподіл сигналу, що перетворюється, від рівномірного розподілу.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Вемян Г. В.* Передача речи по сетям электро-связи / Г. В. Вемян. — М. : Радио и связь, 1985. — 272 с.
2. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. — М. : Наука, 1969. — 576 с.

Стаття надійшла до редакції 28.02.2011.