



СТИСНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ БАЗИСНИХ ФУНКЦІЙ ГАЛУА

Наталія Яцків

Інститут комп'ютерних інформаційних технологій,
Тернопільська академія народного господарства,
вул. Львівська, 11, 46004, Тернопіль, Україна,
e-mail: ny@tanet.edu.te.ua

Резюме: в статті запропонований та досліджений метод зменшення надлишковості цифрових даних на основі базисних функцій Галуа. Даний метод працює в реальному часі і призначений для використання в комп'ютерних системах контролю та управління технологічними об'єктами.

Ключові слова: стиснення даних, кодування, базисні функції, спецпроцесор.

1. ВСТУП

При розробці та модернізації спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС) контролю та управління технологічними процесами розробники все частіше стикаються з проблемами, пов'язаними з недостатньою пропускну здатністю ліній зв'язку. Особливо гостро дана проблема постає в системах де необхідно контролювати велику кількість технологічних параметрів (більше 256) або при використанні систем відео спостереження за ходом технологічних процесів.

Існує три напрямки розв'язується вказаної проблеми:

- використання ліній зв'язку з необхідною пропускну здатністю.
- максимально можлива обробка даних на низовому рівні СКС.
- стиснення даних та їх передавання по низькошвидкісних лініях зв'язку.

Оскільки перші два напрямки не потребують детальних пояснень, то в даній статті ми зупинимося на використанні стиснення даних для розв'язання вказаної проблеми.

Процес стиснення дозволяє значно збільшити пропускну здатність ліній, при відносно невеликих витратах на придбання спеціального обладнання і програмного забезпечення.

Робота в реальному часі, недостатні обчислювальні ресурси та обсяги пам'яті апаратних засобів спеціалізованих комп'ютерних систем накладають ряд обмежень на

використання більшості відомих методів та алгоритмів стиснення даних.

Отже, актуальним є питання розробки нових ефективних методів стиснення даних в розподілених СКС.

2. МЕТОДИ СТИСНЕННЯ ДАНИХ

При розробці методів зменшення надлишковості повідомлень необхідно враховувати наступні параметри:

- швидкість створення повідомлення;
- якість відновленого сигналу;
- складність алгоритмів кодування, декодування;
- комунікаційні затримки (для потокового кодування).

В даний час широко досліджуються методи стиснення звукових повідомлень, зображення, відео, про що свідчать чисельні публікації, але значно менше уваги приділяється розробці спеціалізованих методів стиснення технологічних даних, що є необхідною умовою для вдосконалення автоматизованих комп'ютерних систем керування технологічними об'єктами.

Для зменшення надлишковості даних квазістаціонарних та нестаціонарних джерел інформації замість імпульсно-кодової та дельта модуляція широко використовуються їх модифікації:

- лінійна імпульсно-кодова модуляція (ІКМ);

- блочна ІКМ;
- адаптивна ІКМ;
- диференціальна ІКМ;
- адаптивна диференціальна ІКМ;
- адаптивна дельта-модуляція.

Перспективним в цьому напрямі є розробка методів стиснення даних з використання дискретних базисів та теоретико-числових перетворень.

Найповніше дискретизовані і квантовані функції досліджені в базисі Радемахера. Причому, розроблені теоретичні і методологічні основи генерації базових елементарних функцій:

$y_i = n \cdot x_i; x_i^n; \sqrt[n]{x_i}; \log_n x_i; e^{x_i}; \cos x_i; \sin x_i$ і т. д, а також відповідні структури спецпроцесорів для їх генерації та цифрової обробки [1].

В основу принципу дельта-модуляції покладена процедура кодування на основі вибору такого кроку квантування сигналів по рівню δ та кроку дискретизації Δt , при якому виконується умова:

$$\Delta_i = \begin{cases} 1, & x_i - x_{i-1} = +1 \\ 0, & x_i - x_{i-1} = -1 \\ 0, 1 \dots & x_i - x_{i-1} = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де x_i – поточне значення відліку стану джерела інформації.

Метод дельта-модуляції не характеризується повнотою базисних функцій, коли градієнт наростання значень x_i на інтервалі дискретності перевищує умову (1).

Неповнота системи базисних функцій методу дельта-модуляції обумовлює головний недолік названого методу, який полягає в тому, що при невиконанні умови (1) спостерігається відставання або часове запізнення фактичних станів джерела інформації при декодуванні стиснених даних.

Наявність такого каталогу створить основу та допоможе теоретично дослідити потенційні можливості стиснення даних в базисі Галуа.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ

Кінцеві поля $GF(p^r)$ порядку p^r утворюються з допомогою непривідних поліномів степені r .

При використанні примітивних непривідних поліномів $\pi(x)$ просте поле $GF(p)$ можна

розширити до поля $GF(p^r)$ за рахунок приєднання кореня a поліному $\pi(x)$, тобто з допомогою порівняння по двох модулях p і $\pi(x)$.

В табл. 1 представлені примітивні непривідні поліноми $\pi(x)$ характеристики 2 з коефіцієнтами із простого поля $GF(2)$ з мінімальним числом ненульових коефіцієнтів. З математичної точки зору вибір полінома несуттєвий, так як всі кінцеві поля одного і того ж порядку ізоморфні, але вибір поліному суттєвий з точки зору апаратної реалізації. Детальні таблиці непривідних і примітивних поліномів представлені в [3].

Серед ефективних з точки зору апаратної реалізації двійкових многочленів необхідно виділити тричлени $\pi(x) = x^r + x^k + 1$.

Якщо елемент $\alpha \in GF(2^r)$ представляє собою корінь непривідного двійкового тричлена степені r , то перші r степенів елемента α представляють собою ефективний базис для запису поля $GF(2^r)$, так як множення на α може бути виконано з допомогою r – розрядного регістра, в зворотній зв'язок якого входить один суматор з двома входами (рис. 1).

Таблиця 1. Непривідні примітивні поліноми $\pi(x) = x^r + f(x)$ степенів r і характеристики $p = 2$.

r	$\pi(x); [x^r = f(x)]$
2	$x^2 + x + 1$
3	$x^3 + x + 1; x^3 + x^2 + 1$
4	$x^4 + x + 1$
5	$x^5 + x^2 + 1$
6	$x^6 + x + 1$
7	$x^7 + x + 1; x^7 + x^3 + 1$
9	$x^9 + x^4 + 1$
10	$x^{10} + x^3 + 1$
11	$x^{11} + x^2 + 1$
15	$x^{15} + x + 1$
17	$x^{17} + x^3 + 1$

18	$x^{18} + x^7 + 1$
20	$x^{20} + x^3 + 1$
22	$x^{22} + x + 1$
23	$x^{23} + x^5 + 1$

Формуються послідовності Галуа за допомогою генераторів, які містять регістри зсуву із зворотнім зв'язком. Загальна схема такого генератора приведена на рис.1.

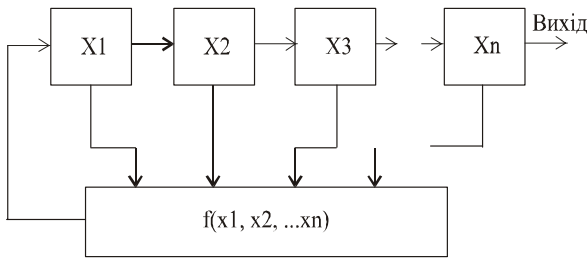


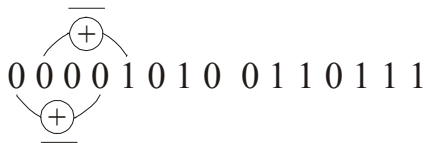
Рис. 1 – Структура універсального генератора послідовності Галуа

Символи послідовності розраховуються за рекурентним рівнянням [4]

$$x_i = (a_1 \cdot x_{i-1} + a_2 \cdot x_{i-2} \cdots + a_n \cdot x_{i-n}) \pmod{2},$$

де $\{a_k\}_n$ – коефіцієнти породжуючого поліному $f_n(x)$.

Якщо початковий стан регістра 0000 то на виході одержимо послідовність з періодом $N = 2^4 - 1 = 15$:



4. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ СТИСНЕННЯ

Суть запропонованого методу полягає в тому, що кожна функція кодується послідовністю Галуа, яка генерується різним ключем: для $n_g = 4$ (табл. 2).

Такий спосіб кодування інформаційних потоків в базисі Галуа забезпечує коефіцієнт стиснення даних

$$k_{c1} = \hat{E}[\log_2 A],$$

де $\hat{E}[\cdot]$ – цілочисельна функція;

A – діапазон квантування, при $A = 1024$, $k_{c1} = 10$ (рис. 1); A – діапазон квантування.

Застосування даного методу можливо при виконанні умови, що досліджуваний об'єкт перебуває у певному стані на протязі $n_g + 1$ тактів, де n_g – розрядність кодону Галуа.

Таблиця 1. Фазові базисні функції

G_0	0000101001101111
G_1	1000010100110111
G_2	1100001010011011
G_3	1110000101001101
G_4	1111000010100110
G_5	0111100001010011
G_6	1011110000101001
G_7	1101111000010100
G_8	0110111100001010
G_9	0011011110000101
G_{10}	1001101111000010
G_{11}	0100110111100001
G_{12}	1010011011110000
G_{13}	0101001101111000
G_{14}	0010100110111100
G_{15}	0001010011011110

Без врахування вказаної умови коефіцієнт стиснення визначається за формулою:

$$k_{c2} = \frac{n \cdot m}{(n+1) \cdot f_a + (m - f_a)},$$

де n – розрядність двійкового коду для представлення величини x_i ; $0 \leq x_i \leq A$; m – загальна кількість відліків; f_a – кількість активних відліків.

Графічна залежність коефіцієнту стиснення від кількості активних відліків приведена на рис. 2.

Приклад квазістаціонарного процесу, який однозначно можна представити біт-орієнтованою

базисною функцією Галуа $y_i = G_i$, представлений на рис. 3.

1100010 – Ліквідація.

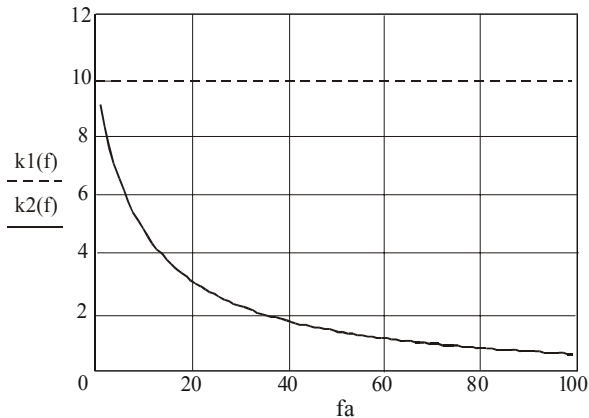


Рис. 2 – Залежність коефіцієнта стиснення від кількості активних відліків.

Практичним застосуванням запропонованого методу є кодування станів об'єктів контролю та керування [5].

На технологічному рівні важливою є операція кодування станів джерела інформації, яка б передбачала зменшення надлишковості цифрових даних та оснащення контролерів низового рівня потужним математичним і програмним забезпеченням для автоматичного дослідження системних характеристик джерела інформації.

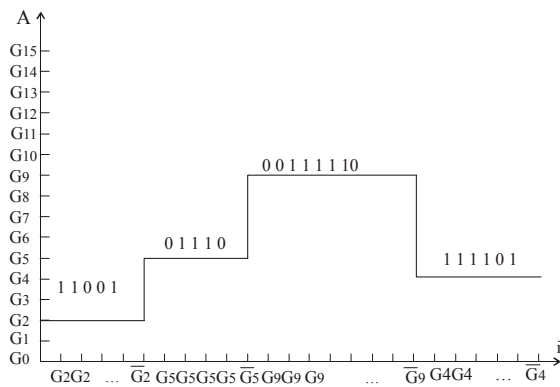


Рис. 3 – Приклад кодування на основі базисних функцій Галуа нульового порядку.

Як приклад об'єкту контролю, розглянемо установку буріння. Установка буріння має 4 семантичні, 8 технологічних та 5 інформаційних станів [4]. Якщо у відповідність кожному стану поставити певний кодон Галуа, то отримаємо для кожного технологічного стану наступний код:

- 0001101 – Буріння;
- 0010110 – Аварія;
- 0110001 – Викид;

Якщо об'єкт керування в даний момент часу перебуває у стані буріння, то послідовність бітів має вигляд 0001101. У разі його переходу в інший стан, останній біт, на момент зміни стану вказаної вище послідовності, інвертується 0001100 і генерується послідовність на основі нового кодону, який вказує в якому стані знаходиться об'єкт контролю в даний момент часу.

Цей метод дозволяє отримати істотне зменшення об'єму інформації при великому числі станів об'єкту. Якщо поставити у відповідність кожному стану об'єкту контролю певний рівень (1 – 8), то кожний відлік потрібно кодувати 3 бітами, застосування запропонованого методу дозволяє кодувати 3 бітами тільки перший відлік, а решту моментів часу представляти одним бітом. Тому на передаючій стороні генератор постійно формує послідовність Галуа, а передає кодон тільки в тому випадку, коли значення контрольованого параметру змінилося, тобто відліки стали активні.

Оскільки технологічні установки, як правило, перебувають у певному стані на протязі тривалого часу, що значно перевищує частоту опитування, то дане кодування є ефективним, причому, чим більша тривалість перебування об'єкту контролю в кожному стані, тим вища ефективність кодування, тобто більший коефіцієнт стиснення.

У випадку, коли зміна значення функцій відбувається на протязі менше n тактів, необхідно вводити базисні функції Галуа першого порядку в яких кожному куту нахилу відповідає заданий кодон Галуа (рис. 4).

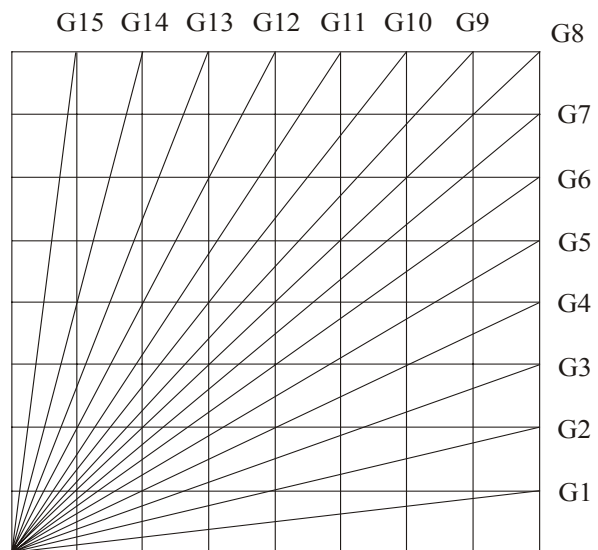


Рис. 4 – Базисні функції Галуа першого порядку.

При цьому біт-орієнтоване кодування дискретних функцій в базисі Галуа однозначно можливе для стрибкоподібних і лінійно-наростаючих функцій, що ілюструється прикладом (рис. 5).

Кодування даних за допомогою фазових базисних функцій Галуа є більш ефективне, ніж кодування за допомогою різних кодових ключів.

Метод кодування з використанням базисних функцій Галуа першого порядку доцільно використовувати для кодування інтегрованих значень параметрів об'єктів керування. Кут нахилу ліній визначає швидкість зростання інтегралу.

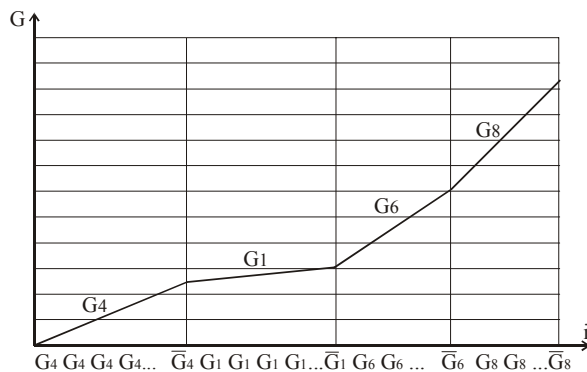


Рис. 5 – Кодування на основі базисних функцій першого порядку.

Кожному куту нахилу відповідає кодон Галуа, що дозволяє однозначно декодувати значення інтегралу функції. Запропонований метод позбавлений недоліку, що полягає у постійному зростанні розрядності відліків, оскільки кут нахилу ліній знаходиться у визначеному діапазоні.

Розроблена програмна [5] та апаратна реалізація (рис. 6) запропонованого методу стиснення.

1) Спецпроцесор призначений для реалізації методу стиснення даних на основі базисних функцій Галуа нульового то першого порядку, і виконує наступні функції (рис. 5):

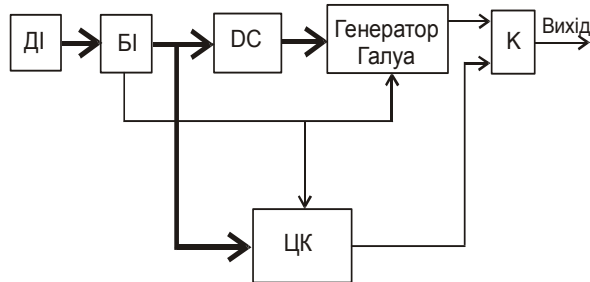


Рис. 6 – Структурна схема спецпроцесора стиснення даних.

- 1) визначає номер рівня сигналу;
- 2) генерує послідовність бітів Галуа;

3) визначає чи відлік активний (порівнює попереднє і наступне значення сигналу);

4) інвертує останній біт Галуа при зміні рівня сигналу;

5) генерує нову послідовність бітів Галуа.

Спецпроцесор стиснення даних складається з блока ідентифікації стану (БІ), дешифратора (ДС), генератора Галуа, цифрового компаратора (ЦК) і ключа (К).

Сигнал з джерела інформації (ДІ) поступає на блок ідентифікації, який ставить у відповідність одному із станів об'єкту контролю двійковий код, який поступає на дешифратор і на цифровий компаратор. Дешифратор призначений для перетворення паралельного двійкового коду в код, який відповідає початковому значенню послідовності Галуа. В цифровому компараторі відбувається порівняння попереднього і наступного значення коду і формується на виході сигнал відповідно 0 або 1:

$$\begin{cases} 0, \text{ якщо } A_i = A_{i+1} \\ 1, \text{ якщо } A_i \neq A_{i+1} \end{cases}$$

де A_i – поточний рівень сигналу.

Одиничний сигнал на виході ЦК вказує на зміну стану об'єкту і це приводить до інвертування поточного біту послідовності Галуа. При нульовому значенні сигналу на виході ЦК поточний біт не інвертується.

5. ВИСНОВКИ

Запропоновано базисні функції Галуа нульового та першого порядку, на основі яких розроблено та досліджено метод стиснення даних.

Метод стиснення на основі базисних функцій Галуа нульового порядку призначений для кодування станів об'єктів керування а також для кодування технологічних параметрів з низькою динамікою.

Базисні функції Галуа першого порядку забезпечують стабільний ефект зменшення обсягів даних процесів з різкими змінами амплітуди, для яких відомі методи малоефективні, призводять до втрат інформації, збільшення обсягів даних стосовно первинних.

Використання базисних функцій Галуа першого порядку для кодування інтегрального значення контрольованого параметру, на відміну від вертикальної інформаційної технології, забезпечує при передаванні рівномірне слідування бітів Галуа.

Спецпроцесор стиснення даних реалізовано на програмованих логічних інтегральних схемах, що дозволить інтегрувати даний пристрій в інтерфейсні модулі передавання даних спеціалізованих комп'ютерних систем контролю та управління технологічними об'єктами.

6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Орищенко В.И. Санников. В.А., Свириденко В.А. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / Под ред. В.А. Свириденко. – М.: Радио и связь, 1985. –184 с.
- [2] Nataliya Yatskiv. Compression of the technological data in terms of Galois basic functions // Proc. of second IEEE international workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2003), September 9 – 11, 2003, Lviv, Ukraine, PP. 404 – 407.
- [3] Муттер В.М. Основы помехоустойчивой телепередачи информации. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990.- 268 с.
- [4] Яцків Н.Г., Николайчук Я.М. Системні характеристики джерел інформації та оцінка їх ентропії // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – Хмельницький. – 2002. – Т.3, №3. – С. 197–200.
- [5] Яцків Н. Г., Пилипів С.А. Метод стиснення технологічних даних. Вісник Технологічного університету Поділля. - Хмельницький. – 2004. – Т. 2, № 2. – С. 110 – 113.



Наталія Георгіївна Яцків
у 1997р. закінчила Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу за спеціальністю “Методи та прилади неруйнуючого контролю для технічної і медичної діагностики”;

– у 2002р.закінчила аспірантуру при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за спеціальністю “Обчислювальні машини, системи та мережі”;

– у 2003 році захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук “Методи та засоби стиснення даних в розподілених комп'ютерних системах на основі кодів поля Галуа”

– у даний час працюю на посаді доцента кафедри інформаційно - обчислювальних систем та управління Тернопільської академії народного господарства.

Наукові інтереси: компресія даних, теоретико-числові перетворення.

COMPRESSION OF THE TECHNOLOGICAL DATA IN TERMS OF GALOIS BASIC FUNCTIONS

Nataliya Yatskiv

Institute of Computer Information Technologies
Ternopil Academy of National Economy
Lvivska Street 11, Ternopil, 46004, Ukraine,
ny@tanet.edu.te.ua

Abstract: *In this article data compression method on the basis of Galois basic functions of zero and first rank is proposed, efficiency of coding with the usage of this method is investigated.*

Keywords: *basic functions, data compression, coding.*

1. INTRODUCTION

The reduction of data redundancy at level of technological objects of the automated systems enables to lower channels capacity, speed and volumes of a computer memory at processing and storage of data.

In the low level of computer systems this problem was partially solved by using of delta-modulation.

The delta-modulation is the fixed procedure of coding on the basis of a choice of such step of quantization of signals on a level and step of discretization that is satisfied condition:

$$\Delta_i = \begin{cases} 1, & x_i - x_{i-1} = +1 \\ 0, & x_i - x_{i-1} = -1 \\ 0, 1, \dots & x_i - x_{i-1} = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

Where x_i - current value of the information source condition.

The method of delta-modulation is not characterized by completeness of basic functions, if the gradient of increase of x_i values in a step interval exceeds a condition (1). The incompleteness of basic functions system of a delta-modulation method makes the main shortage of this method. The non-fulfillment of a condition (1) leads to the lateness of actual state of a source of the information when decoding the compressed data.

2. DESCRIPTION OF THE PROPOSED METHOD

At the same time, in investigated Galois basis such job is not carried out. Therefore there is a urgent task of development of the catalogue of discretized and quantized functions in Galois basis [3]. The presence of such catalogue will create a basis and will help theoretically to investigate potential opportunities of the data compression in Galois basis.

We shall consider linear function $y_i = c \cdot x_i$.

There is an invariancy of representation of different functions by identical sequences bit Galois, therefore this method results in ambiguity of coding, is similar to representation of integrals with indefinite constant C.

To avoid the given shortage any of functions is coded by a Galois sequence which is generated by a different key for $n=4$ $N = 2^4 - 1 = 15$.

With relation to mathematics the choice of polynomial is inessential because all finite fields of the same order are isomorphous. With relation to hardware implementation the choice of polynomial is important. Detailed tables of primitive out-of-register polynomial are presented in [4].

The specified sequences with the help of generators are formed which contain the registers of shift from a feedback. The general circuit of such generator given on a fig. 1.

The restriction of application of the given method is a condition, that the researched object is in the fixed condition during $n+1$ steps, where n -capacity Galois codon.

Such way of coding of information flows in Galois basis provides data compression ratio

$$k_{cl} = \hat{E}[\log_2 A], \quad (2)$$

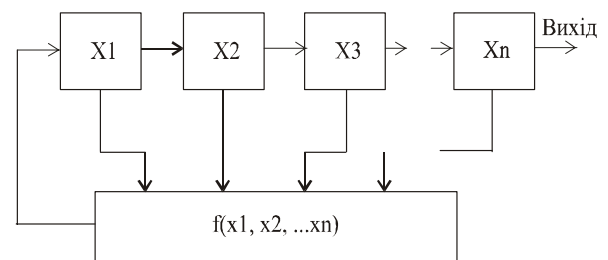


Fig. 1 - Structure of the universal generator of a Galois sequences

That is at $A = 1024$, $k_{cl} = 10$.

Without taking of the above-mentioned restriction compression ratio is calculated according to the formula:

$$k_{c2} = \frac{n \cdot m}{(n + 1) \cdot f_a + (m - f_a)} \quad (3)$$

The graphic dependences of compression ratio are constructed on the basis of expressions (2 and 3) are presented in figure 3.

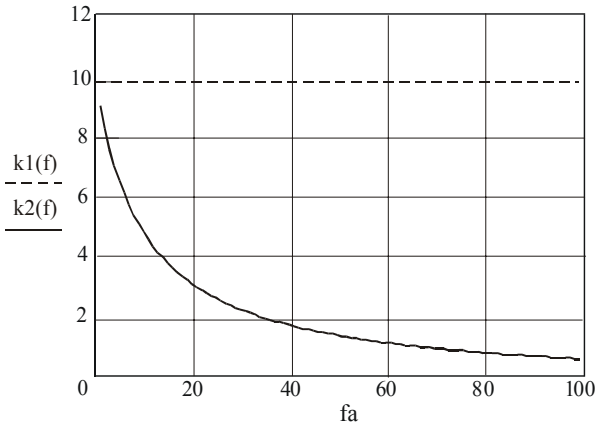


Fig. 2 - Dependence of compression ratio on number of active read-outs.

In a fig. 3 the example of quasi-stationary process is shown. It is uniquely possible to present this process by bit – orienting Galois basic function , which is described by a line.

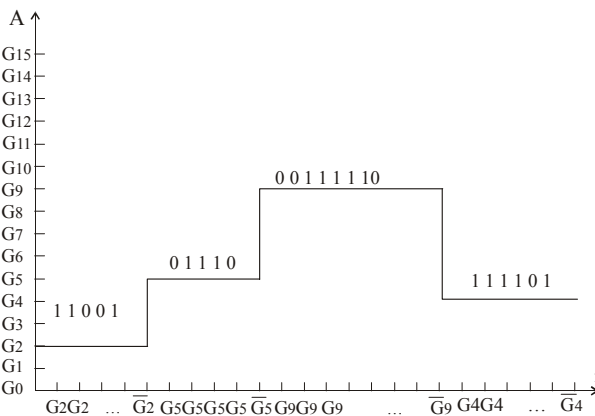


Fig. 3 - An example of coding on the basis of elementary functions

The practical application of the offered method is coding state of control objects (CO) The control objects can be characterized semantic, technological and information state. [5].

The offered method permits to code only first readout by n- bits, and others readouts by one bit. The given method of coding is effective because the technological equipment, as a rule in the certain state during time, which considerably exceeds time of polling.

Galois basic functions zeros rank can be used for coding of states of control objects. Drilling rig has 4 semantic, 8 technological and 5 information states. If every state correspond to fixed Galois codon than every technological state has appointed code.

- 1110010 – drilling,
- 1101001 – breakdown
- 1001110 – overshoot
- 0011101 – liquidation

If control object in this time is in drilling state, then we'll have such Galois bit-sequence 1110010. When control object goes into another state the last bit of sequence is inverted and new Galois codon is generated. The new codon shows the state of control object at given moment.

This method gives opportunity to reduce volume of information. If every state corresponds fixed level (1-8), then every reading expected for coding 3 bits. Use of proposed method allows to code 3 bits only first reading the rest of readings presents by one bit.

Technological plant stays in fixed state during long time, which exceeds frequency of inquiry, then the coding is effective. The coding is more effective when control object is in the fixed state during long time. In this case we have greater compression ratio.

The similar principles of identification of states and support of man-caused ecological safety CO of oil and gas complex are realized for other objects, and also with the usage of means of a technical condition diagnostics of oil and gas equipment both computer monitoring systems of account consumption of energy resources.

If the change of value of functions occurs on an extent less steps it is necessary to enter Galois basic functions of the first order (fig. 4).

Thus bit-oriented coding of discrete functions in Galois basis is uniquely possible for spasmodic and linearly - increasing of functions, which is illustrated by an example on a fig. 5.

The coding of the data with the help of phase basic Galois functions is more effective, than coding with the help of different code keys.

The coding method with use of basic Galois functions of the first order is expedient to use for coding the integrated values of parameters of objects of management. The corner of an inclination of lines determines speed of increase of integral. To each corner of an inclination corresponds with Galois codon , that permits to uniquely decode value of integral of function.

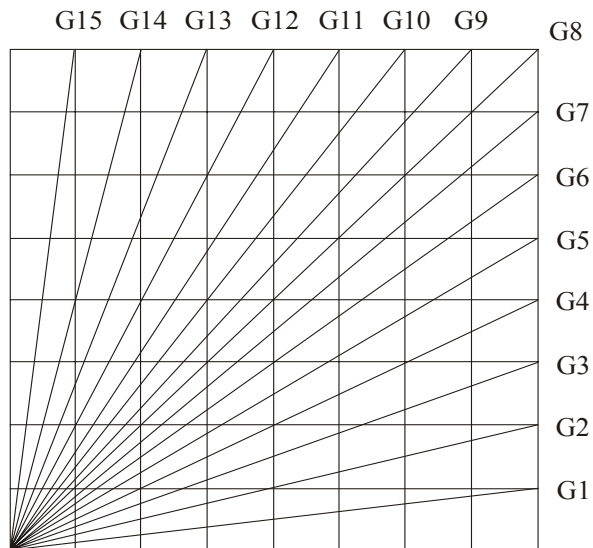


Fig. 4 - Galois basic functions of the first order.

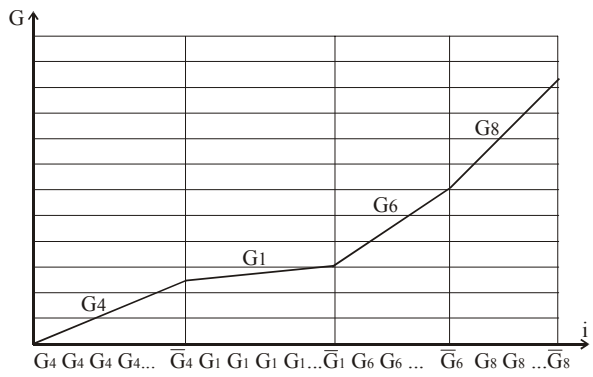


Fig. 5 - Coding in terms of Galois basic functions of the first order.

3. CONCLUSION

The offered method is hasn't shortage of continual increasing of readout capacity, as the corner of an inclination of lines is in the fixed range.