



ФОРМУВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЕНТРОПІЙНО-МАНІПУЛЬОВАНИХ СИГНАЛЬНИХ КОРЕКТУЮЧИХ КОДІВ У БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Артур Воронич ¹⁾, Ярослав Николайчук ²⁾, Володимир Гладюк ²⁾

¹⁾ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, archy.bear@gmail.com

²⁾ Тернопільський національний економічний університет, 46020, Тернопіль, вул. Львівська 11

Резюме: Викладена систематизація теоретичних основ та аналітичних виразів оцінки мір ентропії. Наведено характеристику сигнальних коректуючих кодів поля Галуа. Описано можливість використання ентропійної маніпуляції та сигнальних коректуючих кодів у безпроводних сенсорних мережах. Встановлено, що ентропійний підхід з застосування коректуючих кодів поля Галуа є найбільш ефективним та перспективним для формування і опрацювання сигналів при передачі інформації в безпроводних сенсорних мережах.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа, ентропія, сигнальні коректуючі коди, Галуа.

FORMATION AND PROCESSING OF ENTROPY-MANIPULATED CORRECTING SIGNAL CODES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Artur Voronych ¹⁾, Yaroslav Nykolaychuk ²⁾, Volodymyr Hladyuk ²⁾

¹⁾ Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15 Carpathian Str., 76019 Ivano-Frankivsk, archy.bear @ gmail.com

²⁾ Ternopil National Economic University, 11 Lvivska Str., 46020 Ternopil

Abstract: It is described a systematization of theoretical bases and analytical expressions for evaluation of entropy measures. It is showed a characteristic of signal corrective codes of Galois field. It is described the use of entropic manipulation and corrective signal codes in wireless sensor networks. It is founded that entropy approach of applying the corrective codes of Galois field is the most effective and promising for the formation and processing of signals during transmission in wireless sensor networks.

Keywords: wireless sensor networks, entropy, corrective signal codes, Galois.

ВСТУП

Безпроводні сенсорні мережі (wireless sensor networks) – одні з передових комп'ютерних мережевих технологій, розмір ринку яких в 2011р. становив пів мільярда доларів[1]. Основою таких мереж є мініатюрні обчислювально-комунікаційні пристрої – моти (від англ. motes – порошинки), або сенсори. Сенсор є платою розміром не більш за один кубічний дюйм. На платі розміщуються процесор, пам'ять флеш і оперативна, цифро-аналогові і аналого-цифрові перетворювачі, радіочастотний приймач, джерело живлення і

сенсори. Сенсори можуть бути найрізноманітнішими, вони підключаються через цифрові і аналогові конектори. Частіше за інших використовуються сенсори температури, тиску, вологості, освітленості, вібрації, магніто-електричні, хімічні, звукові і деякі інші. Набір використаних сенсорів залежить від функцій, що виконуються безпроводними сенсорними мережами. Живлення мотів здійснюється від невеликої батареї [2]. Моти використовуються тільки для збору, первинної обробки і передавання сенсорних даних.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕНТРОПІЙНИХ МЕТОДІВ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ

В світовій практиці для оцінки ентропії інформації найширше застосування отримали інформаційні міри Р. Хартлі та К. Шеннона. В той же час на практиці застосовується багато інших оцінок ентропії(табл. 1), які можуть бути теоретичною основою для методів формування та опрацювання сигналів [3,4,5].

Таблиця 1. Формули оцінки ентропії

№	Функція	Міра ентропії
1.	$H = \log S^n = n \cdot \log S$, де H – ентропія; S – число незалежних рівномірних станів джерел інформації(ДІ); n – довжина вибірки.	Р. Хартлі
2.	$I_x = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma_x^2}$, $I_x = \hat{E}[\log_2 3\sigma_x]$ $\hat{E}[\]$ – цілочисельна функція з округленням до більшого	К. Крайма
3.	$H_\varepsilon \leq T / \Delta t + \log(C / \varepsilon)$, де Δt – крок дискретизації, що забезпечує точність квантування ε ; C – діапазон квантування; T – інтервал часу спостереження ДІ.	Колмогоров
4.	$H = -k \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i$, де k – додатний коефіцієнт, що враховує основу логарифма; p_i – ймовірність i -го стану дискретного ДІ.	К. Шеннона
5.	$h_\Delta = f'_{сер}(t) / f'_{max}(t) $, де $f'_{сер}(t)$, $f'_{max}(t)$ – відповідно середнє і максимальне значення похідних зміни кількості станів джерела.	В. Боюна
6.	$I_x = n \cdot \hat{E} \left[\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (D_x^2 - R_{xx}^2(j)) \right]$, де D_x – дисперсія значень x_i ; $R_{xx}(j)$ – автокореляційна функція; m – число точок функції $R_{xx}(j)$ на інтервалі кореляції.	Я. Николайчука
7.	$H(u, p) = -k \sum_{i=1}^n [u_i p_i \cdot \log p_i]$, де u_i – коефіцієнт корисності; k – стала величина; $p = p_i$ – імовірність i -го стану.	Дж. Лонго

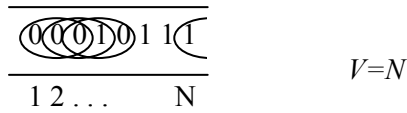
8.	$H(P, W) = - \sum_{i=1}^n \frac{P_i W_i}{\sum_{j=1}^n P_j W_j} \cdot \log \frac{P_i W_i}{\sum_{j=1}^n P_j W_j}$, де $P_i W_j$ – оціночні коефіцієнти.	Г. Шульда
9.	$H = \lim[(\log N) / n] = - \sum p(j) \cdot \log p(j)$, де $N = n! / \prod_j S_j$ - загальна кількість можливих комбінацій станів	Б. Олівера
10.	$H(X) = - \sum_{l_1}^L \dots \sum_{l_n}^L p(X) \log p(X)$, де $(l \leq l_i \leq L; i = 1, 2, \dots, n)$. X – апіорна невизначеність; X_i, y_i – статистично залежні стани ДІ	Д. Мідл-тона
11.	$H \leq k2BT(1 + S / N)$ $H = k \cdot n \log S_{ave}$, де S_{ave} – середнє значення станів ДІ; BT – інформаційна база повідомлень, що формується; N – значення шуму. $1/S$ – інтервал кореляції між відліками	В. Таллера

Детальний аналіз властивостей оцінок ентропії проведений в [5], де показано, що реалізація ентропійних моделей на основі функцій автокореляції(табл. 1(6)) дозволяє зняти існуючі функціональні обмеження, які присутні при розрахунку ентропії на основі інформаційних мір Р. Хартлі та К. Шеннона. Оскільки перша не враховує статистичного розподілу потоку інформаційних даних, а друга враховує тільки ймовірності станів джерел інформації і не враховує ймовірностей їх переходу з одного стану в інший, що реалізується в інформаційній мірі ентропії на основі формули, запропонованої проф. Николайчуком Я.М [3,4,5].

Прикладом кодів, які володіють високими ентропійними характеристиками є сигнальні коректуючі коди в базисі Галуа [3].

2. СИГНАЛЬНІ КОРЕКТУЮЧІ КОДИ В БАЗИСІ ГАЛУА

Коди поля Галуа (рис. 1)[3, 6] за загальною класифікацією відносяться до підкласу циклічних блокових кодів, які володіють всіма основними властивостями завадозахищених кодів. В блокових кодах послідовність елементарних повідомлень розбиваються на блоки символів ($B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$) фіксованої довжини K , кожному з яких ставиться в відповідності певна комбінація символів кодового слова ($b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$).



V – об’єм виродженої матриці

Рис. 1 – Представлення коду Галуа

Циклічні коди відносяться до класу систематичних кодів. Для даних кодів можна записати відповідний їм аналітичний вираз, чи деяке логічне співвідношення, яке визначається правилами створення цих кодів. Найбільш зручною формою представлення циклічних кодів – використання алгебраїчного виразу [3, 6]:

$$G(x) = a_{n-1} \cdot x^{n-1} + a_{n-2} \cdot x^{n-2} + \dots + a_1 \cdot x + a_0 \quad (1)$$

де a_0, \dots, a_{n-1} – числа, що дорівнюють «0» чи «1», які визначають відповідні значення розрядів кодових комбінацій.

Таким чином дія над циклічними кодами зводиться до дії над відповідними математичними виразами. Дані коди є одними з найбільш досконалою упаковкою інформації.

Найбільш ефективно переваги даного базису можна використати при кодуванні інтегральних значень, оскільки при інтегруванні кожне наступне значення збільшується на одиницю. Тому на відміну від базису Радемахера кожне дискретне значення інтеграла функції замість n -розрядного двійкового коду фіксується одним бітом Галуа (рис. 2).

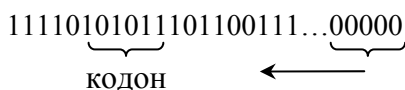


Рис. 2 – Формування коду Галуа

У загальному випадку код поля Галуа генерується згідно рівнянь незвідних поліномів (табл. 2) на основі узагальненого рекурентного виразу[7]:

$$X_{i+1} = (x_i \cdot a_i \oplus x_{i-1} \cdot a_{i-1} \oplus \dots \oplus x_{i-n} \cdot a_{i-n}), \quad (2)$$

де $a_i \in 0,1$ - двійкові значення незвідного алгебраїчного поліному, що формує код рекурентного ключа для послідовності.

В окремих випадках код Галуа G_2^n формується згідно рекурентної послідовності:

$$G_{i+1} = G_i \oplus G_{i-n}, \quad (3)$$

де n – розрядність кодона

Таблиця 2. Незвідні поліноми $\pi(x) = x^r + f(x)$ степенів r і характеристик p

p	r	$\pi(x); [x^r = f(x)]$
2	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	$x^7 + x + 1; x^7 + x^3 + 1$
	8	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$
	9	$x^9 + x^4 + 1$
	10	$x^{10} + x^3 + 1$
	11	$x^{11} + x^2 + 1$
	12	$x^{12} + x^6 + x^4 + x + 1$
	13	$x^{13} + x^4 + x^3 + x + 1$
	14	$x^{14} + x^{10} + x^6 + x + 1$
	15	$x^{15} + x + 1$
	16	$x^{16} + x^{12} + x^3 + x + 1$
	17	$x^{17} + x^3 + 1$
	18	$x^{18} + x^7 + 1$
	19	$x^{19} + x^5 + x^2 + x + 1$
	20	$x^{20} + x^3 + 1$
	21	$x^{21} + x^2 + 1$
	22	$x^{22} + x + 1$
	23	$x^{23} + x^5 + 1$
	24	$x^{24} + x^7 + x^2 + x + 1$
	25	$x^{25} + x^3 + 1$
	26	$x^{26} + x^6 + x^2 + x + 1$

При передаванні та прийманні інформації на основі сигнальних кодів використовуються маніпульовані сигнали сформовані на основі чотирьох ознак, які поставлені у відповідність до елементів інформаційного повідомлення відповідно до кодів поля Галуа [6].

Відомий спосіб передавання, та приймання інформації на основі модифікованої частотної модуляції (MFM) [8]. В модифікованій частотній модуляції використовуються 4 сигнальні ознаки: фронт наростання(\wedge), фронт спаду(\vee), які відповідають символу «1», і потенціал «+», потенціал «-», які відповідають символу «0». При повторенні символу «0» для бітової синхронізації також використовують фронт наростання(\wedge) чи спаду(\vee).

Проте такий спосіб не дозволяє виявляти і виправляти помилки.

Інший спосіб передавання та приймання інформації[9] дозволяє виявити та виправити помилки при прийманні біторієнтованих даних за рахунок коректуючих властивостей кодів Галуа без додаткового передавання контрольних сум.

При передаванні та прийманні інформації використовуються маніпульовані сигнали сформовані на основі чотирьох ознак, які поставлені у відповідність до елементів інформаційного повідомлення відповідно до кодів поля Галуа. Такий принцип формування сигнального коду полягає в тому, що біти одиниць в пакеті даних нумеруються рекурентним кодом Галуа G_k^2 . Причому для одиниць в пакеті даних біт Галуа «1» передається фронтом наростання(\wedge), а біт Галуа «0» передається фронтом спаду(\vee). Біти нулів в пакеті даних також нумеруються рекурентним кодом Галуа G_k^2 . Причому для нулів в пакеті даних біт Галуа «1» передається потенціалом «+», а біт Галуа «0» передається потенціалом «-». В якості чотирьох ознак маніпуляції на сигнальному рівні може бути відповідно використані набори з чотирьох фаз, частот, шумоподібних сигналів та їх комбінацій.

Приклад сигналу маніпульованого за допомогою сигнальних коректуючих кодів, при якому об'єм коду Галуа відповідає об'єму даних наведено на рис. 3. З таблиці (рис. 3) видно, що в блоці об'ємом $N=2^4$ завершення послідовності нулів відповідає коду Галуа 1101 і завершується символами $++-+\vee\vee\wedge\vee$, тобто $N=6$, згідно G_2^4 . А завершення послідовності одиниць в кодї Галуа відповідає символам $\wedge\vee\vee\wedge$, тобто коду Галуа 0110, $N=10$.

Позиції бітів	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16
Біти даних	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Біти Галуа $G_4^2(1)$	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
Символьний код	\wedge	\wedge	\wedge	\wedge	\vee	\wedge	\vee	\wedge	\wedge	\vee	\vee	\wedge	\vee	\vee	\vee	\vee
Сигнальний код																
Біти даних	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Біти Галуа $G_4^2(0)$	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
Символьний код	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-
Сигнальний код																
Біти даних	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1
Біти Галуа $G_4^2(1)$	1	1		1	1		0	1	0				1	1		0
Біти Галуа $G_4^2(0)$			1			1				1	1	0				1
Символьний код	\wedge	\wedge	+	\wedge	\wedge	+	\vee	\wedge	\vee	+	+	-	\wedge	\wedge	+	\vee
Сигнальний код																

Рис. 3 – Приклад формування сигнального коректуючого коду для інформаційного повідомлення

Таким чином забезпечується ефективно симетричне кодування у вигляді кодів Галуа послідовності нулів і одиниць блоку даних з однозначним визначенням їх числа $N_0+N_1=N$, яке використовується для виявлення та виправлення помилок після передавання даних.

На рис. 4 зображена реалізація потоку даних маніпульованих за допомогою сигнальних коректуючих кодів, з виявленням помилок на сигнальному рівні. В таблиці приведено приклад виникнення помилок на сигнальному рівні в 7-ій та 17-ій позиції нулів, а також 10-ій та 21-ій позиції одиниць.

Виявлення помилок ґрунтується на біт-орієнтованій нумерації послідовності нулів і одиниць, які передаються за допомогою кодових послідовностей Галуа. Якщо помилка виявлена, використовується формула, де рекурентним шляхом перевіряється, в якій саме позиції відбулася заміна символу нуля(одиниці), в процесі передавання даних і даний символ замінюється на правильний [9].

Номер позиції бітів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	...
Біти даних	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	...
Біти Галуа $G_4^2(1)$	1			1		1		1	0	1		0	1		1	0		1	0	0	0		0		...
Біти Галуа $G_4^2(0)$		1	1		1		1				0			1			0					1		1	...
Сигнальний код																									
Помилка *							*			*							*				*				...
Символьний код з помилкою	\wedge	\vee	\vee	\wedge	\vee	\wedge	\wedge	\wedge	-	$\frac{+}{\vee}$	+	-	\wedge	\vee	\wedge	-	$\frac{\wedge}{\vee}$	-	-	-	$\frac{\wedge}{\vee}$	\vee	\wedge	\vee	...

Рис. 4 – Реалізація потоку даних за допомогою сигнальних коректуючих кодів, з виявленням помилок на сигнальному рівні

3. СПІРАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ КОРЕКТУЮЧИХ КОДІВ В БАЗИСІ ГАЛУА

Теоретична основа підвищення заводо захищеності сигнальних коректуючих кодів показана в роботі [10], на основі виявленої наявності в послідовності Галуа черезрівневої рекурентної властивості.

Нехай маємо код Галуа, який представляється рекурентним кодом:

$$G_2^4 = 11110101\ 10010001111010110...$$

Можна показати, що код генерований на основі виразу (3) можна упакувати в спіраль (рис. 5), причому по кожній з чотирьох твірних формується рекурентна послідовність, яка має відповідні рекурентні властивості коду в базисі Галуа.

Отримана спіраль закодована рекурентним кодом розкривається зі збереженням

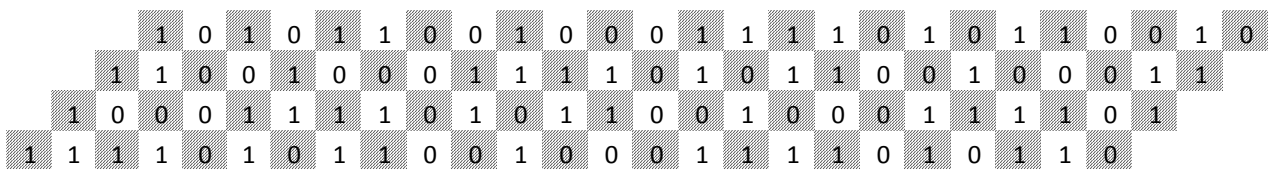


Рис. 5 – Сигнальний коректуючий код упакований у вигляді спіралі

Номер позиції бітів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	...
G_4^2	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1		0	0	1	1	1	1	0	1	0	...
G_{i-4}										*	*	*	*	*									
G_{i-13}													*										

Рис. 6 – Виявлення помилок при використанні спіральних властивостей сигнальних коректуючих кодів поля Галуа

4. БЕЗПРОВІДНА СЕНСОРНА МЕРЕЖА

У мережі компанії Dust Networks[2] вузли працюють в шумоподібному режимі із стрибкоподібною перестройкою частоти в діапазоні 902-928 МГц. Відстань між вузлами складає 30-60 м в приміщенні і до 150 м поза приміщенням. Проте внаслідок малих розмірів мот розмір антени також повинен бути малий, і передавання даних необхідно вести на високій частоті, а це не завжди сумісно з вимогою малої споживаної потужності. До того ж, високочастотні трансивери – достатньо складні пристрої з схемами модуляції і демодуляції, смуговими фільтрами. Для передавання даних

рекурентності через 12 символів, що дозволяє виправляти помилки по твірних спіралі згідно виразу:

$$G_{i+1} = G_i \oplus G_{i-13} \quad (4)$$

З врахуванням спіральних властивостей сигнальний рекурентний код можна ефективно використати при виявленні пакетів помилок. Оскільки спочатку перевіряється і виправляється помилки згідно виразу (1) а потім, згідно виразу (4) по твірних спіралі.

На рис. 5 показано виявлення помилок при використанні спіральних властивостей сигнальних коректуючих кодів поля Галуа. Як видно з рис. 6 при виникненні помилок в п'яти підряд позиціях виявлення помилок завдяки рекурсивному виразу (3) стає неможливим, оскільки можлива неправильна корекція, тому потрібно виявляти дані помилки завдяки спіральним властивостям, тобто виразу (4).

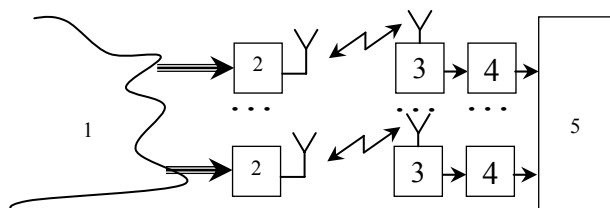
від великого числа вузлів потрібні додаткові схеми мультиплексованої передавання з часовим, частотним або кодовим розділенням. Все це істотно ускладнює завдання зниження споживаної потужності до необхідного рівня в декілька мікровоат.

Безпроводна сенсорна мережа, розроблена авторами, належить до розподілених інформаційно-вимірювальних комп'ютеризованих програмно-апаратних засобів перетворення, дистанційного передавання, реєстрації та відображення даних про характеристики складних просторово-розподілених промислових об'єктів контролю та управління. Такі сенсорні мережі можуть бути

використані для віддаленого контролю та обліку витрати енергоносіїв (електроенергії, газу, стисненого повітря, води, пари, сипучих матеріалів), ідентифікації, станів технологічних установок, які характеризуються квазі-стаціонарними станами (електричні двигуни, крани, засувки, станки по обробці металів, та інших матеріалів), установки нафтогазового комплексу (буріння, видобутку, підготовки, зберігання, переробки та транспортування нафти та нафтопродуктів), а також транспорту, переробки, фасування та переробки продуктів харчування.

Дана мережа володіє кращими властивостями заводокомплексу та надійності, а також апаратна складність є меншою, ніж у відомих безпроводних сенсорних мережах.

Безпроводна сенсорна мережа, на передавальній стороні містить k -сенсорних вузлів, на входах яких є давачі (рис. 7). Вихід кожного давача підключений до сенсорного входу пристрою формування та цифрового опрацювання сигналів. Крім цього сенсорний вузол містить батарею автономного живлення. Реєстраційний вихід підключений до флеш-пам'яті реєстрації, а інформаційний вихід через трансивер підключений до передавальної антени, а на приймальній стороні містяться k -приймальних антен. Виходи антен підключені до входів відповідних пристроїв опрацювання отриманих сигналів. Виходи цих пристроїв підключені до відповідних входів концентратора. На передавальній стороні пристрій формування та цифрового опрацювання сигналів містить інтегрально-імпульсний ентропійний перетворювач Галуа, який включає перетворювач напруга/частота, генератор Галуа, вихід якого підключений до ентропійного перетворювача сигналів, вихід якого є інформаційним виходом пристрою, і до флеш пам'яті реєстрації даних (реєстраційний вихід). На приймальній стороні пристрій опрацювання сигналів містить пристрій визначення автокореляційної міри ентропії і пристрій демодуляції бітів Галуа.

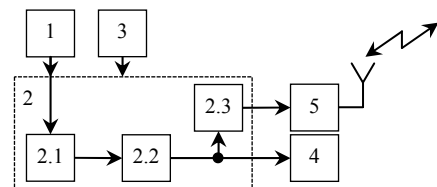


1 – розподілений об'єкт управління, 2 – сенсорні вузли з передавальною антеною, 3 – пристрій визначення ентропії з приймальною антеною, 4 – пристрій демодуляції бітів Галуа, 5 – концентратор.

Рис. 7 – Структурна схема сенсорної мережі

В основу роботи безпроводної сенсорної мережі покладено принцип передавання інформації на основі ортогональних ентропійно-маніпульованих сигналів та кодовому розділенні сигналів у безпроводній лінії зв'язку та використанні сигнальних коректуючих входів у базисі Галуа.

Інформаційно-вимірювальні дані з об'єкту управління поступають на сенсорні вузли 1 з передавальною антеною 2 (рис. 7), а саме на входи давачів 1 сенсорних вузлів безпроводної сенсорної мережі (рис. 8).



1 – давач, 2 – інтегрально-імпульсний ентропійний перетворювач Галуа 2.1 – перетворювач напруга/частота, 2.2 – генератор Галуа; 2.3 – ентропійний перетворювач сигналу, 3 – блок живлення вузла, 4 – флеш-пам'ять для реєстрації даних, 5 – передавальна антена

Рис.8 – Структурну схему вузла безпроводної сенсорної мережі

Вихід кожного давача 1 підключений до відповідного входу інтегрально-імпульсного ентропійного перетворювача Галуа 2, який містить перетворювач типу напруга/частота 2.1, імпульси якого тактують роботу генератора Галуа 2.2, який з використанням кодової шкали Галуа по осі ординат формує асинхронний потік бітів Галуа в моменти пересічення квантованих значень осі ординат (рис. 9) [7].

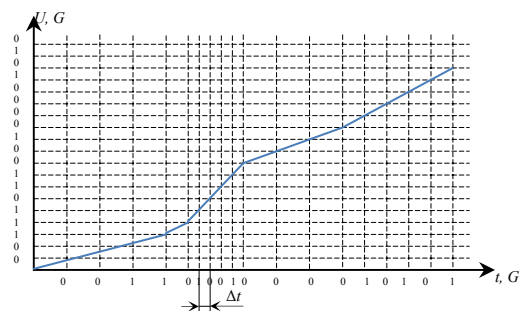


Рис. 9 – Інтегральне представлення сигналу з використанням кодової шкали Галуа

Після цього кодовані дані поступають на флеш-пам'ять реєстрації даних 4 та ентропійний перетворювач 2.3, який за допомогою шумоподібних сигналів кодує одиничні та нульові біти Галуа.

Суть методу формування та опрацювання

квазітрійкових сигналів зі змінною ентропією (рис. 10) полягає в тому, що двійковим символам інформаційного повідомлення ставиться у відповідність значення розподілу ентропії сигналу [11]. Так, в каналі зв'язку є постійна складова (рис. 10,а), яка використовується для позначення повторення, початку і кінця повідомлення. Інформаційним символам «0» (рис. 10,б) і «1» (рис. 10,в) ставиться у відповідність значення ентропії шумоподібного сигналу з маніпульованим математичним сподіванням.

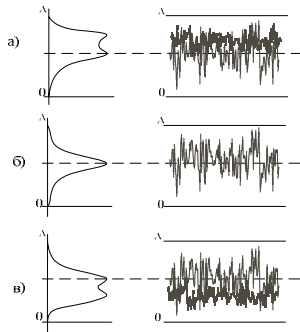


Рис. 10 – Представлення інформаційних повідомлень при маніпуляції квазітрійкових сигналів зі змінною ентропією: а) «1»; б) «синхро»; в) «0»

Приклад квазітрійкового сигналу зі змінною ентропією для інформаційного повідомлення розміром в 1 байт зображено на рис. 11, де: I – структура фрейма, II – реалізація фізичного рівня ентропійноманіпульованих сигналів, III – квазітрійковий код маніпульованих сигналів, IV – характеристики Гаусівського розподілу сигналів зі змінною ентропією.

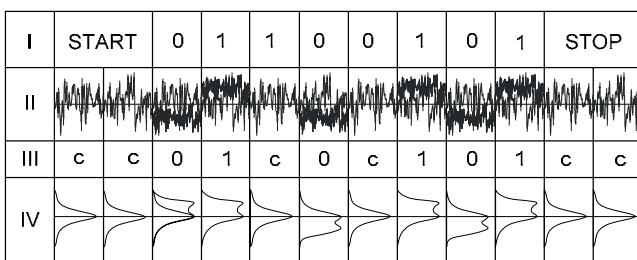


Рис. 11 – Приклад квазітрійкового сигналу зі змінною ентропією для інформаційного повідомлення розміром в 1 байт

Як видно із рис. 11. За допомогою квазітрійкового сигналу можна не змінюючи структуру сигналу організувати «старт» і «стоп» біти, а також виключити повторення інформаційних символів, що забезпечує якісну бітову синхронізацію.

Сформовані таким чином ентропійноманіпульовані сигнали через трансивер 5 з передавальною антеною 6 дистанційно передаються на приймальну сторону.

На приймальній стороні (фіг. 8) міститься k-приймальних антен 3, кожна з яких здійснює приймання переданих сигналів і їх передавання на пристрій опрацювання автокореляційної міри ентропії 4 [12]. Опрацьований сигнал передається на пристрій демодуляції бітів Галуа 5, де відбувається перевірка даних на помилки, їх корекція у випадку наявності помилок у переданих даних та передавання інформації на відповідні входи концентратора 6.

В концентраторі n послідовно прийнятих бітів Галуа перетворюються в цифрові позиційні коди, які представляють покази відповідного сенсора.

5. ВИСНОВКИ

Викладені дослідження в галузі створення безпроводних сенсорних мереж є перспективним напрямом у їх розвитку, Крім цього застосування ентропійного підходу при реалізації методів маніпуляції сигналів на основі ШПС зі змінною ентропією забезпечує високий рівень завадозахищеності передавання даних в умовах інтенсивних промислових завод. Використання сигнальних коректуючих кодів для формування та передавання інформації створюють перспективу їх широкого застосування на в комп'ютерних системах, для підвищення заводостійкості і захисту від несанкціонованого доступу.

6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] <http://www.idtechex.com/research/reports/wireless-sensor-networks-2011-2021>
- [2] Y. M. Boyko, V. M. Lokazyuk, V. V. Mishan, Conceptual features of wireless sensor networks, *Bulletin of the Khmelnytsky National University*, 2 (2010), pp. 94-98 (in Ukrainian)
- [3] Nykolaychuk Y.M. *Theory Sources*, Second edition, revised, Ternopil: JSC «Ternograph», 2010, 536 p. (in Ukrainian).
- [4] Pohonets I. O., Voronych A. R., The method of construction of entropy model quasi-stationary sources, *Proceedings of International Symposium: Issues of Calculation Optimization*, Crimea, Katsiveli, Vol. 2, (2009), pp. 214-219 (in Ukrainian)
- [5] Nykolaychuk Y. M., Voronych A. R., Theoretical basis of entropy measures and their applications in information technology signal formation and processing, *Optoelectronic information and energy technologies, International Science and Technology magazine*, (19) 1 (2010), pp. 50-64. (in Ukrainian)

- [6] Y. M. Nykolaychuk, A. R. Voronych, T. M. Hrynchyshyn, The theoretical foundations, principles of information formation and transmission base on signal corrective code, *Progress in science. Scientific Papers of Buchach Institute of Management*, Buchach, (6) 1 (2010), pp.41-49. (in Ukrainian)
- [7] Nykolaychuk Y. M., Vozna N. Y., Pituh I. R., *Design of Specialized Computer Systems. Study Guide*, Ternopil: LLC «Terno-graph», 2010, 392 p. (in Ukrainian)
- [8] US Pat.4376958 G11B5/09, *Modified Frequency Modulation*, Archibald M. Pettigrew (Glenrothes, GB6) / Elcomatic Limited (Glasgow, GB6). Appl. No.: 06/166, 777. Filed: Jul 8, 1980(in English)
- [9] Patent for invention 96853 Ukraine IPC (2011.01) H03M13/00, *Method of Information Transmitting and Receiving*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Nykolaychuk Y. M., Hrynchyshyn T. M., Voronych A. R. (Ukraine). Publ. 12.12.2011, Bull. № 23 (in Ukrainian)
- [10] Petryshyn L. B., Nykolaychuk Y. M., Rolls synchronization and receiving digital messages methods in the basis of the Galois, *Proceedings of the 3rd Ukrainian Conf. with the automatic management «Avtomatyka-96»*. Sevastopol SDTU, UAAU, (1996), pp. 76-77. (in Ukrainian)
- [11] Voronych A. R. Entropy methods of formation and signal processing in specialized distributed computer systems, *Bulletin of Khmelnytsky National University*, Khmelnytsky, 4 (2010), pp. 69-72. (in Ukrainian)
- [12] Patent for useful model 58743 Ukraine IPC (2006) G06F 17/15 (2011/01), *A device for determination of autocorrelation entropy measure*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Nykolaychuk Y. M., Voronych A. R., Pohonets I. A. (Ukraine). Publ. 26.04.2011, Bull. № 8. (in Ukrainian)



Артур Воронич, магістр з відзнакою за спеціальністю «Автоматизоване управління технологічними процесами» (2008) Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, з 2010 р. аспірант кафедри Комп'ютерних систем та мереж за

спеціальністю «Комп'ютерні системи та компоненти». Працює у напрямку застосування ентропійного підходу до методів формування та опрацювання сигналів та використання сигнальних коректуючих кодів в базисі Галуа.



Ярослав Николайчук, спеціаліст (1967), електрифікація та автоматизація видобутку, транспортування та зберігання нафти і газу, Львівський політехнічний інститут, к.т.н. (1980), елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування, д.т.н. (1989), елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування, професор кафедри автоматизованого управління (1993), Івано-Франківський інститут нафти і газу, директор Карпатського державного центру інформаційних засобів і технологій Національної академії наук України (1994), дійсний член Української академії національного прогресу (1995), завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем (1999), керівник 18 захищених кандидатських дисертацій, консультант 1 захищеної докторської дисертації, член IEEE (2000), заступник голови спеціалізованої вченої ради K58.082.02 при ТНЕУ (2002).

Наукові інтереси: спеціалізовані комп'ютерні системи, системи передавання даних, низові обчислювальні мережі.



Володимир Гладюк магістр з відзнакою за спеціальністю «Комп'ютерні технології в управлінні та навчанні» (2009) Тернопільського національного економічного університету, з 2009 р. аспірант за спеціальністю «Електро-технічні комплекси та сис-

теми».

Працює у напрямку методів та засобів опрацювання інформаційних характеристик пневмотранспортних систем у квазістаціонарних режимах.



FORMATION AND PROCESSING OF ENTROPY-MANIPULATED CORRECTING SIGNAL CODES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Artur Voronych¹⁾, Yaroslav Nykolaychuk²⁾, Volodymyr Hladyuk²⁾

¹⁾ Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15 Carpathian Str., 76019 Ivano-Frankivsk, archy.bear@gmail.com

²⁾ Ternopil National Economic University, 11 Lvivska Str., 46020 Ternopil

Abstract: *It is described a systematization of theoretical bases and analytical expressions for evaluation of entropy measures. It is showed a characteristic of signal corrective codes of Galois field. It is described the use of entropic manipulation and corrective signal codes in wireless sensor networks. It is founded that entropy approach of applying the corrective codes of Galois field is the most effective and promising for the formation and processing of signals during transmission in wireless sensor networks.*

Keywords: *wireless sensor networks, entropy, corrective signal codes, Galois.*

1. INTRODUCTION

In this article the wireless sensor networks are observed – one of the leading computer networking technology, which size of markets in 2011 is amounted to half a billion dollars [1]. The basis of such networks is a miniature computing and communication devices – motes (dust particles), or sensors. A set of sensors used depends on the functions performed by the wireless sensor networks [2].

2. THEORETICAL BASIS OF ENTROPY SIGNAL PROCESSING METHODS

In world practice to estimate information entropy of widely used information measure received by R. Hartley and K. Shannon. At the same time in practice, many estimates of entropy, which can be theoretic basis for methods of formation and signal processing [3, 4, 5].

Implementation of models based on autocorrelation entropy functions allows you to remove the existing functional limitations that are present in the calculation of entropy-based information measures R. Hartley and K. Shannon. Since the former does not take into account the statistical distribution flow of information data and the second considers only the probability of information sources states and does not consider the probability of transition from one state to another, which is implemented in information which assists in innovation as entropy based on the formula

proposed by prof. Nykolaychuk Y.M. [3, 4, 5].

3. SIGNAL CORRECTIVE CODES IN GALOIS BASIS

An example of code that have high entropy features are corrective signal codes in Galois basis [3].

In some cases, Galois code G_2^n [3, 6] is formed by recurrent sequence: $G_{i+1} = G_i \oplus G_{i-n}$, where n – bit codon.

When transmitting and receiving information through signaling codes used manipulated signals are generated based on four characteristics that set in line with the elements of notification in accordance with codes Galois field [6].

It is known method of transmitting and receiving information based on the modified frequency modulation (MFM) [8], which uses four signal features: front increase (\wedge), front drop (\vee), corresponding to the character «1» and potential «+» the potential «-», corresponding to the character «0». When character «0» repetition for bit synchronization is also used front increase (\wedge) or decrease (\vee). However, this method does not allow to detect and correct errors. An other way to transmit and receive information [9] allows to detect and correct errors when receiving data bit-oriented by corrective properties of Galois codes without additional transmission checksum.

When transmitting and receiving information using manipulated signals formed on the basis of

four features which are set in line with the elements of an information message accordingly codes of Galois field. This principle of formation the signal code is what would go in the packet data units are numbered recurrent source Galois G^2_k . And for items in the package data bit Galois «1» is transmitted front rise (\wedge) and Galois bits «0» is transmitted and do joint front (\vee). Bits of zeros in the data packets are numbered as a recurrent source of Galois G^2_k . And for the district left in the packet data bit Galois «1» is transmitted potential «+» and Galois bit «0» is transmitted potentials scrap «-». As the four signs of manipulation in signal level can be properly used sets of four phases, frequency, noise-like signals and their combinations.

Error detection is based on bit-oriented numbering sequence of zeros and odes down and transmitted using code sequences Galois. If error found, the formula, where recurrent by check, which is held positions change the character zero (one), in the process of data and this symbol is replaced with the correct [9]. Theoretical basis for improvement noise immunity corrective signal code shown in [10], based on the detected presence of a sequence of Galois across level recurrent properties.

4. SPIRAL PROPERTIES CORRECTIVE CODES IN GALOIS BASIS

May have the Galois code, which seems recurrent code: $G_2^4 = 1111010110010001111010110...$ We can show that code generated on the basis of above expression can be packed into a spiral, and for each of the four generators formed recurrent sequence that has the appropriate recurrent properties of the code in Galois basis.

The resulting spiral coded recurrent source spins preserving rekurentnosti over 12 characters, which allows correct errors in generating a spiral by the expression: $G_{i+1} = G_i \oplus G_{i-13}$.

Given the properties of spiral signal recurrent code can be effectively used for packet errors detected.

5. WIRELESS SENSORS NETWORKS

Wireless sensor networks, on transmission side, has k -sensor nodes at the inputs of which are sensors. Output of each sensor is connected to a touch input device formation and digital signal processing. Registration output connected to the flash memory registration, and information output by transceiver connected to the transmitting antenna and on receiving side are k -receiving antennas. The outputs of antennas connected to the inputs of the respective devices processing the received signals. The outputs of these devices are connected to

corresponding concentrator inputs. On the transmitter side of the device formation and digital signal processing includes the integral-pulse entropy Galois converter, which includes the converter voltage / frequency, Galois generator, whose output is connected to the entropic transducer signal output which is an information output device. On the receiving side signal processing device includes a device definition autocorrelation measure of entropy and demodulation device of Galois bits.

The wireless sensor network work was based on the principle of information transmission based on orthogonal entropy-manipulated signals and code separated signals in a wireless communication line and use corrective signal inputs in Galois basis.

Information-measuring data with the object of arriving at the sensor nodes from transmitting antenna, namely sensors inputs of sensor node wireless sensor network.

Output of each sensor is connected to the corresponding integral-pulse converter entropic Galois containing transformer type voltage/frequency pulses whose work tact Galois generator that code using Galois scale on the vertical axis forms an asynchronous stream of bits in the Galois points of intersection quantized values vertical axis [7].

Then coded data enter in flash memory data recording and entropy converter that using noise-like signals and encodes a single zero bit Galois.

The method of formation and processing quasi-three signals with variable entropy is binary symbols that alert is assigned the value of entropy distribution of the signal [11].

Formed thus Entropy-manipulated signals via transceiver transmitting antenna of remotely transmitted to the receiving side.

On the receiving side contains k -receiving antennas, each of which performs receiving of incoming signals and transmitting them to the device processing autocorrelation entropy measure [12]. Processing signal is transmitted to the device demodulation Galois bit, where data errors test and their correction in case of errors in transmitted data and information transfer to the respective inputs of the concentrator.

In the concentrator n consistently taken bits Galois converted into digital positional codes that represent the impressions corresponding sensor.

6. SUMMARY

Described researches in the field of wireless sensor networks is promising direction in their development, addition of application entropic approach to the implementation of manipulation signals methods based noise-shaped signals variable

entropy provides a high level noise immunity data in intensive industrial noise. The use of signal correlation correcting codes for information formation and transmitting make a wide use of computer systems in order to increase immunity and protect against unauthorized access.

7. REFERENCES

- [1] <http://www.idtechex.com/research/reports/wireless-sensor-networks-2011-2021>
- [2] Y. M. Boyko, V. M. Lokazyuk, V. V. Mishan, Conceptual features of wireless sensor networks, *Bulletin of the Khmelnytsky National University*, 2 (2010), pp. 94-98 (in Ukrainian)
- [3] Nykolaychuk Y.M. *Theory Sources*, Second edition, revised, Ternopil: JSC «Ternograph», 2010, 536 p. (in Ukrainian).
- [4] Pohonets I. O., Voronych A. R., The method of construction of entropy model quasi-stationary sources, *Proceedings of International Symposium: Issues of Calculation Optimization*, Crimea, Katsiveli, Vol. 2, (2009), pp. 214-219 (in Ukrainian)
- [5] Nykolaychuk Y. M., Voronych A. R., Theoretical basis of entropy measures and their applications in information technology signal formation and processing, *Optoelectronic information and energy technologies, International Science and Technology magazine*, (19) 1 (2010), pp. 50-64. (in Ukrainian)
- [6] Y. M Nykolaychuk, A. R. Voronych, T. M. Hrynchyshyn, The theoretical foundations, principles of information formation and transmission base on signal corrective code, *Progress in science. Scientific Papers of Buchach Institute of Management*, Buchach, (6) 1 (2010), pp.41-49. (in Ukrainian)
- [7] Nykolaychuk Y. M., Vozna N. Y., Pituh I. R., *Design of Specialized Computer Systems. Study Guide*, Ternopil: LLC «Terno-graph», 2010, 392 p. (in Ukrainian)
- [8] US Pat.4376958 G11B5/09, *Modified Frequency Modulation*, Archibald M. Pettigrew (Glenrothes, GB6) / Elcomatic Limited (Glasgow, GB6). Appl. No.: 06/166, 777. Filed: Jul 8, 1980(in English)
- [9] Patent for invention 96853 Ukraine IPC (2011.01) H03M13/00, *Method of Information Transmitting and Receiving*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Nykolaychuk Y. M., Hrynchyshyn T. M., Voronych A. R. (Ukraine). Publ. 12.12.2011, Bull. № 23 (in Ukrainian)
- [10] Petryshyn L. B., Nykolaychuk Y. M., Rolls synchronization and receiving digital messages methods in the basis of the Galois, *Proceedings of the 3rd Ukrainian Conf. with the automatic. management «Avtomahyka-96»*. Sevastopol SDTU, UAAU, (1996), pp. 76-77. (in Ukrainian)
- [11] Voronych A. R. Entropy methods of formation and signal processing in specialized distributed computer systems, *Bulletin of Khmelnytsky National University*, Khmelnytsky, 4 (2010), pp. 69-72. (in Ukrainian)
- [12] Patent for useful model 58743 Ukraine IPC (2006) G06F 17/15 (2011/01), *A device for determination of autocorrelation entropy measure*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Nykolaychuk Y. M., Voronych A. R., Pohonets I. A. (Ukraine). Publ. 26.04.2011, Bull. № 8. (in Ukrainian)