

УДК 681.31

Б.М. ШЕВЧУК

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, м. Київ

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБЧИСЛЕНЬ ЗАСОБАМИ ОБ'ЄКТНИХ СИСТЕМ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ**

**Анотація.** З урахуванням комплексу завдань, пов'язаних з обробленням і кодуванням даних моніторингу та формуванням компактних і захищених пакетів інформації засобами об'єктних систем сенсорних мереж запропонована реалізація оперативних обчислень в процесі стиску сигналів і відеосигналів з допустимими втратами інформації, стиску-захисту даних без втрат, оперативного визначення інформаційних станів об'єктів тривалого моніторингу. Запропоновані методи оперативного завадостійкого кодування даних та формування компактних кодово-сигнальних послідовностей пакетів інформації.

**Ключові слова:** об'єктні системи, сенсорні мережі, стиск сигналів і даних, обчислення, сигнально-кодові послідовності.

**Аннотация.** С учетом комплекса задач, связанных с обработкой и кодированием данных мониторинга, а также формированием компактных и защищенных пакетов информации средствами объектных систем сенсорных сетей предложена реализация оперативных вычислений в процессе сжатия сигналов и видеосигналов с допустимыми потерями информации, сжатия-защиты данных без потерь, оперативного определения информационных состояний объектов длительного мониторинга. Предложены методы оперативного помехоустойчивого кодирования данных и формирования компактных сигнально-кодовых последовательностей пакетов информации.

**Ключевые слова:** объектная система, сенсорные сети, сжатие сигналов и данных, вычисления, сигнально-кодовые последовательности.

**The Abstract.** Taking into account a complex of the tasks connected with processing and coding of data of monitoring, and also formation of the compact and protected packages of information by means of object systems of touch networks offered realization of expeditious calculations in the course of compression of signals and video signals with admissible losses of information, compression - data security without loss, expeditious definition of information conditions of objects of long monitoring. Methods of expeditious noiseproof coding of data and formation of compact alarm and code sequences of packages of information are offered.

**Keywords:** object system, touch networks, compression of signals and data, calculations, alarm and code sequences.

**Вступ**

Сучасні сенсорні мережі (СМ) із самоорганізацією передачі пакетів інформації є основою для побудови "всюди проникаючих мереж". При цьому на об'єктах контролю різноманітної природи (промислових і технічних об'єктах, мобільних роботах, об'єктах екомоніторингу, операторах людино-машинних комплексах, пацієнтах, параметри яких контролюються телемедициними системами та ін.) встановлюються об'єктні системи СМ, які вирішують комплекс завдань [1-3], пов'язаних з введенням, обробленням, кодуванням моніторингової інформації та передаванням пакетів даних до засобів міжмережевої взаємодії. З метою підвищення інформаційної ефективності функціонування СМ в ISM діапазоні частот (ISM – Industrial, Scientific, Medical: 433, 868, 902-928 (для США), 2400МГц) в [2,3] запропоновані методи та алгоритми обробки і кодування даних моніторингу засобами об'єктних систем (ОС). Об'єктні системи СМ, як правило, орієнтовані на тривалий час роботи від автономного джерела живлення та характеризуються використанням мікропотужних процесорів (ARM-мікроконтролерів, сигнальних процесорів) з обмеженою обчислювальною продуктивністю. Суттєвим недоліком сучасних СМ є зменшення, приблизно на порядок, швидкості передачі даних в коміркових мережах. Тому серед невирішених проблем ефективного застосування СМ в різноманітних галузях людської діяльності доцільно виділити орієнтацію СМ на передачу низькошвидкісних вимірювальних сигналів, низьку захищеність передачі даних з використанням відкритих каналів зв'язку, включаючи низький криптозахист даних, який базується на принципах симетричної криптографії, та низький захист даних від каналних завад, пов'язаний з обмеженою базою каналних сигналів та відсутністю ефективного завадостійкого кодування даних. Також суттєвим недоліком засобів СМ є той факт, що вони не орієнтовані на передачу відеоданих.

**Актуальність**

З урахуванням обмеження на частотні ресурси для функціонування СМ актуальним завданням є розміщення в місцях виникнення (зародження) інформаційних потоків об'єктних систем СМ, які, при використанні процесорів з обмеженою продуктивністю, з мінімальними обчислювальними витратами забезпечують формування та передачу компактних та захищених (криптостійких і завадостійких) пакетів інформації різноманітного характеру.

**Мета**

З метою підвищення швидкості передачі пакетів інформації в СМ з урахуванням системних вимог до засобів об'єктних систем, які орієнтовані на реалізацію комплексу алгоритмів оброблення, кодування і шифрування вхідних потоків моніторингових даних та формування компактних і захищених пакетів інформації, в статті запропоновані взаємодоповнюючі алгоритми оперативного опрацювання даних на інформаційному рівні. Для реалізації засобами ОС відповідної операції запропонована послідовність виконання обчислень, оптимізованих за швидкістю і точністю кодування даних. При цьому вхідними моніторинговими даними, що підлягають обробці і кодуванню, можуть бути вимірювальні сигнали,

відеосигнали (дані рухомих і нерухомих зображень), масиви даних.

**Методологічні та алгоритмічні основи оптимізації обчислень в процесі оброблення, кодування та передавання даних в СМ.**

Для ефективного застосування СМ в необхідних місцях об'єктів тривалого моніторингу встановлюються ОС, для яких вхідними даними є аналогові сигнали, відеосигнали або масиви моніторингових даних, отриманих з виходів датчиків, сенсорів та відеосенсорів. Слід зазначити, що для широкого застосування СМ необхідно орієнтувати засоби ОС на передачу як вимірювальних сигналів так і відеоданих. Як правило, моніторингові дані накопичуються в буферному накопичувачі ОС, і в залежності від прикладної орієнтації СМ, отримані дані в пакетному режимі, згідно з протоколами передачі пакетів інформації, передаються на спеціалізовані сервери. Відповідно, ОС можна вважати перетворювачем вхідних моніторингових потоків даних у вихідні інформаційні пакети (ІП), які підлягають передачі та ретрансляції абонентами СМ. Тому кожна ОС в місцях виникнення інформаційних потоків повинна мінімізувати кількість пакетів, що підлягають передачі. Оскільки каналом зв'язку вважають всі ресурси і засоби, які знаходяться між відправником і отримувачем інформації [4] то підвищення ефективності функціонування ОС СМ досягається шляхом підвищення ефективності функціонування апаратно-програмних засобів інформаційного рівня ОС (рівня введення, оброблення, кодування даних та формування ІП) та засобів радіотехнічного рівня. При заданих величинах робочої смуги частот  $F$  і ймовірності помилкового прийому кодової послідовності  $P_n$  ефективність функціонування мережі передачі інформації характеризується показником ефективності системи  $\eta = R/C$ , де  $R_{\max} = f(F, P_n, (E_{is}/J_0)_n, K_c, L/B)$  – поточна максимальна швидкість передачі інформації,  $C$  – пропускна здатність каналу зв'язку (теоретична максимальна швидкість передачі інформації),  $(E_{is}/J_0)_n$  – необхідне енергетичне співвідношення сигнал/шум в каналі зв'язку,  $E_{is} = S \cdot T_{is}$ ,  $S$  – потужність сигналу,  $T_{is}$  – тривалість інформаційного символу (кодової послідовності),  $J_0 = J/F$ ,  $J$  – середня потужність сумарних завад в каналі ( $(E_{is}/J_0)_n \approx (S/J) \cdot B$  [4]), де  $B = F \cdot T_{is}$  – база сигналу (коефіцієнт розширення спектру сигналу),  $K_c$  – сумарний коефіцієнт стиску даних,  $L \leq B/4$  [5] – кількість ортогональних сигналів, які асиметрично можна передавати в загальному радіоканалі (величина  $L$  відповідає кількості незалежних кодових моно каналів в смузі частот  $F$ ). Таким чином досягнення максимальної поточної швидкості передачі інформації  $R_i$  за умови підтримки необхідного енергетичного співвідношення  $(E_{is}/J_0)_n$  у радіоканалі здійснюється шляхом адаптивного вибору мінімально необхідної бази каналних сигналів  $B_{\min}$ . При цьому швидкість передачі інформації  $R_i = K_c \cdot L/k_s \cdot T_b \cdot B_{\min}$ , де  $K_c = K_i \cdot K_n$ ,  $K_i$  – коефіцієнт стиску даних на інформаційному рівні, який враховує стиск даних (сигналів, відеосигналів) з допустимими втратами та стиск двійкових даних без втрат,  $K_n$  – коефіцієнт стиску даних на радіотехнічному рівні (враховує підвищення швидкості передачі даних за рахунок багатопозиційних методів маніпуляції даних та ущільнення каналів передачі даних),  $k_s \geq 1.4-1.8$  – коефіцієнт, що враховує якість відновлення фронтів цифрових сигналів [4],  $T_b$  – тривалість бітової послідовності. З урахуванням використання спрощених радіотехнічних засобів ( $K_n = 1$ ), що характерно для ОС сенсорних мереж, ефективність передачі інформації можливо підвищити за рахунок оптимізації величини  $K_c \rightarrow \max K_c$ , де  $K_c = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ ,  $k_1$  – коефіцієнт стиску даних з допустимими втратами інформації, який обмежується особливостями прикладних досліджень і завдань,  $k_2$  – коефіцієнт стиску даних без втрат,  $k_3$  – коефіцієнт стиску (ущільнення) даних в процесі формування сигнально-кодових послідовностей ІП.

Таким чином, досягнення високої інформаційної ефективності передачі даних в СМ забезпечується за рахунок використання об'єктними системами високопродуктивних процесорів, спеціалізованих пристроїв (кодеків, цифрових прийомопередавачів сигнально-кодових послідовностей) та програмно-апаратній реалізації комплексу взаємодоповнюючих алгоритмів стиску-захисту даних, завадостійкого кодування та формування компактних сигнально-кодових послідовностей ІП. При передачі вимірювальних сигналів і зображень для формування компактних ІП засобами ОС виконується наступна послідовність операцій:

- 1) визначення суттєвих відліків (СВ) обвідних сигналів (відеосигналів) та компактне кодування амплітудно-часових параметрів СВ;

- 2) оперативний стиск-захист даних без втрат з використанням словника та гаміювання даних з псевдовипадковими послідовностями, згенерованими з використанням абонентських закритих ключів;
- 3) оперативне завадостійке кодування даних, формування перевіркових кодів;
- 4) формування компактних кодово-сигнальних послідовностей (КСП) ІІ, перемішування КСП.

В процесі швидкодійного стиску даних з допустимими втратами основними обчислювальними операціями є усереднення поточних відліків сигналів в адаптивно визначеному вікні усереднення даних [6] та визначення різницевих амплітудних значень  $\Delta X_i = X_i^F - X_{i-1}^F$  між сусідніми відфільтрованими

відліками  $X_i^F$  та різницевих амплітудних значень сусідніх СВ [6,7]. Основою стиску та якісного відновлення сигналів (відеосигналів) є збереження характеристик об'єднаних сигналів з урахуванням вимог та особливостей прикладних завдань, галузей застосування адаптивних алгоритмів кодування даних. При цьому в процесі стиску параметрів СВ (глобальних і локальних екстремумів, точок перегину або точок зміни руху кривої) з допустимими (контрольованими) втратами інформації доцільно оперативно визначити найбільш інформативні (чисті від шумів) ділянки сигналу, на яких параметри СВ кодуються максимально точно та неінформативні ("зашумлені") ділянки, на яких досягається максимальний стиск даних. Після стиску даних з допустимими втратами в масивах, як правило, присутні збиткові двійкові послідовності даних (довгі послідовності однотипних бітів,  $n$  – бітові послідовності в різних комбінаціях, які часто повторюються,  $n = 3, 4, 5 \dots$ ). Ці масиви підлягають подальшому стиску без втрат та криптозахисту з використанням псевдовипадкових послідовностей (ПВП), кодові ключі генерації яких відомі тільки абоненту-відправнику та абоненту-приймачу інформації. Беззбиткові та криптостійкі масиви даних, які фактично є псевдохаотичними даними, підлягають завадостійкому кодуванню, а при передачі пакетів інформації, з урахуванням якості каналу зв'язку (рівня шумів в радіоканалі), формуються відповідні завадостійкі кодово-сигнальні послідовності.

При реалізації алгоритму компактного кодування відліків сигналу, оптимізованого за швидкістю і точністю кодування, обробка і кодування даних здійснюється послідовними вибірками. Підвищення коефіцієнту стиску даних та швидкодії компактного кодування досягається за рахунок оперативного вибору максимально допустимого інтервалу опиту та аналізу поточних відліків сигналу, зменшенням кількості СВ, переш за все на недостовірних та пологих ділянках сигналу, визначенням ТП тільки на чистих від шумів нединамічних ділянках сигналу, коли  $\Delta X_i^F \leq \Delta F_d$ , де  $\Delta X_i^F$  – поточний приріст сусідніх відліків відфільтрованого сигналу,  $\Delta F_d$  – попередньо задана дослідником допустима величина поточної крутизни сигналу, а також шляхом опиту неінформативних ділянок сигналу з максимально допустимим інтервалом, який гарантує досягнення мінімально необхідного коефіцієнту стиску даних  $K_{c \min}$ . Чистою від шумів вважається ділянка сигналу яку утворюють два і більше сусідніх СВ, для яких виконується умова:  $\Delta X_{CBi}^N < \delta_d^N$ , де  $\Delta X_{CBi}^F = |X_{CBi}^F - X_i^F|$  – оперативно визначена оцінка показника вхідного співвідношення сигнал/шум для  $i$ -го відфільтрованого СВ  $X_{CBi}^F$ ,  $X_i^F$  – амплітудне значення вхідного сигналу, часовий відлік якого відповідає СВ  $X_{CBi}^F$ ,  $\delta_d^N$  – допустима величина рівня вхідних шумів в околиці СВ. При цьому на недостовірних ділянках сигналу амплітудні значення СВ кодуються з використанням мінімального значення кількості біт  $q_{\min}$ , а на чистих від шумів – з використанням кількості біт  $q_{\max}$ . Слід зазначити, що для визначення показника  $\Delta X_{CBi}^F$  в околиці СВ можливі різноманітні обчислення оцінки вхідного співвідношення сигнал/шум, які задає дослідник з урахуванням особливостей прикладних досліджень. В швидкодійному алгоритмі компактного кодування СВ вхідна вибірка даних проріджується зі сталим кроком прорідження відліків, з яким здійснюється попередня фільтрація сигналу та пошук параметрів первинних (приблизно визначених) екстремумів СВ-Е<sub>p</sub>. На основі отриманих даних визначаються межі чистих від шумів та "зашумлених" ділянок сигналу, СВ яких кодуються з використанням службових даних та різницевих кодів амплітудних і часових даних. При цьому, в залежності від наявного часу обробки і кодування даних, амплітудно-часові параметри СВ (СВ-Е, СВ-ТП) на чистих від шумів ділянках сигналу уточнюються та кодуються більш точно.

Підвищення точності та швидкодії компактного кодування відліків сигналу з допустимими втратами інформації досягається за рахунок максимально допустимого прорідження відліків вхідної вибірки даних, адаптивного вибору вікна усереднення  $l_u$  в процесі фільтрації сигналу, де  $l_u = f(\Delta X_{CB}^F)$  та шляхом реалізації адаптивної медіанної фільтрації і вибору оптимального (максимально допустимого) інтервалу опиту (відбору) відліків сигналу на чистих та зашумлених ділянках, враховуючи, що частота

дискретизації сигналу вибирається збитковою, тобто  $f_d = k \cdot f_{\max}$ , де  $f_{\max}$  – максимальна частота спектру сигналу,  $k > 5 - 8$ . З метою прискорення і оптимізації (мінімізації обчислювальних операцій) обробки та кодування даних інтервал відбору збиткових відліків поточної вибірки сигналу  $t_v$  визначається адаптивно з урахуванням залежності:  $t_v = f(\Delta X_{CBj}^N, \{\Delta X_{CBj}^F\})$ , де  $\{\Delta X_{CBj}^F\} = \Delta X_{CBj}^F / d_j$  – нормована крутизна сигналу між поточними сусідніми СВ,  $\Delta X_{CBj}^F = X_{CBj}^F - X_{CBj-1}^F$ ,  $d_j = 1, \dots, r$  – кількість відліків дискретизації сигналу між СВ<sub>j-1</sub> і СВ<sub>j</sub>,  $r$  – максимальна кількість відліків між сусідніми СВ.

Для передачі відеоданих по низькошвидкісним каналам СМ, в залежності від продуктивності абонентського процесора, прикладної орієнтації та галузі застосування відеокодека здійснюється прорідження відеокадрів. В процесі компактного кодування вибірок відеосигналів поточних кадрів визначаються СВ та показники їх інформативності [6,7]. На основі отриманих даних в кожному кадрі, що підлягає аналізу, визначають інформативність рядків та поточного кадру, після чого визначаються ключові кадри, компактні дані яких підлягають накопиченню в буфері та передачі по каналам зв'язку. Для реалізації якісного відеомоніторингу об'єктів центральна станція комірки СМ керуючими пакетами визначає послідовність та тривалість передачі відповідних фрагментів відеоданих з мінімальними затримками.

В процесі стиску-захисту даних без втрат захист інформації ґрунтується на виконанні операції додавання за модулем 2 над відповідними бітами двох послідовностей: послідовності бітів первинного масиву даних  $X = x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$  і послідовності випадкових бітів поточного секретного ключа  $K = k_1, \dots, k_i, \dots, k_n$ . В результаті виконання операцій додавання за модулем 2 отримуємо криптограму  $Y = y_1, \dots, y_i, \dots, y_n$ , для якої справедливий вираз  $Y = X \oplus K$ , де  $y_1 = x_1 \oplus k_1, \dots, y_i = x_i \oplus k_i, \dots, y_n = x_n \oplus k_n$ , а  $X \oplus 0 = X$ ,  $X \oplus X = 0$ . Суттєвою вимогою при виконанні операцій шифрування даних з одноразовим ключем є дотримання вимоги, щоб при виконанні кожної наступної операції шифрування (додавання за модулем 2) використовувався інший, незалежно згенерований секретний ключ. Відповідно, для  $j$ -тої операції шифрування, парою абонентів, які приймають участь в передачі/прийомі ІІ, генерується поточна послідовність випадкових бітів  $K_j = k_{1+j}, \dots, k_{i+j}, \dots, k_{n+j}$ . Таким чином базовими операціями захисту масивів даних ІІ є використання абонентами мережі операцій генерації довготривалих ПВП, гаміювання відповідних масивів даних, формування перевіркових кодів пакетів даних. Величина ступеня захисту інформації  $P_z$  пропорційна величинам масивів даних, що підлягають гаміюванню, тобто  $P_z \cong \max [2^m]$ , де  $m$  – мінімально необхідна довжина поточної ПВП, яка використовується для надійного захисту інформації ( $m \geq 1048$  біт).

Первинні потоки моніторингових даних визначаються мінімальними та максимальними значеннями амплітудних і частотних параметрів сигналів, відповідно  $A_{\min}$ ,  $A_{\max}$  и  $f_{\min}$ ,  $f_{\max}$ , що підлягають контролю. Для суттєвого зменшення інформаційних потоків в СМ на кожній ОС доцільно організувати оперативну обробку відповідних сигналів з визначенням показників, які підлягають апертурному або зонному контролю [1]. Ефективним способом зменшення інформаційних потоків на ОС є визначення інформаційних станів об'єктів моніторингу шляхом періодичного формування булевих змінних вектора  $Q_s = (q_{1s}, q_{2s}, \dots, q_{vs}, \dots, q_{rs})$  по результатам контролю обчислених величин, де  $Q_s$  - вектор  $s$ -го інформаційного стану об'єкту моніторингу,  $q_{vs}$  - значення  $v$ -го булевого елемента  $Q_s$  - го вектора. Найбільш оперативно булеві змінні  $q_{vs}$  визначаються по результатам апертурного контролю вимірних величин або обчислених показників у відповідності до виразу

$$q_{vs} \begin{cases} 1, F(X_{pm}) - Z_v < \varepsilon_v / 2 \\ 0, F(X_{pm}) - Z_v \geq \varepsilon_v / 2 \end{cases},$$

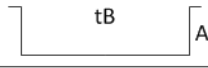
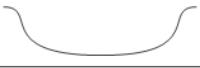


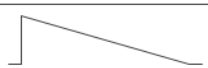

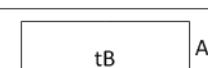

де  $F(X_{pm})$  – виміряна або обчислена величина (функція)  $p$ -го сигналу з довжиною вибірки  $m$  відліків,  $Z_v$  – опорна величина (умовна норма) параметру, що підлягає контролю,  $\varepsilon_v$  – величина апертури.

З інженерної практики відомо, що при візуальному вивченні обвідних сигналів дослідник в першу чергу звертає увагу на екстремуми та точки перегину (зміни опуклості) кривої. Інформативність екстремумів і точок перегину важлива при дослідженні нединамічних (гладких) ділянок сигналу, а при дослідженні швидкодіючих процесів точками перегину можна знехтувати. Для експрес-аналізу різної тривалості сигналів в [8] запропонований метод оперативного спектрального аналізу сигналів з урахуванням амплітудно-часових параметрів екстремальних значень сигналу. До інформативних відліків, які впливають на спектральну характеристику реалізації сигналу, також слід віднести точки перегину, для яких природи різницевих значень сусідніх відліків  $\Delta(\Delta X_i^F)$  по абсолютній величині перевищують задану величину. Тобто, окрім екстремумів враховуються інформативні точки, в яких характер огинаючої знає значних змін. Таким чином на інтервалі вибірки сигналу  $x(t)$  визначають послідовність  $N$  інформативних відліків  $x_1, x_2, \dots, x_N$  і вимірюють часові інтервали  $\{\Delta t_i\}$  між сусідніми  $i$ -м і  $(i+1)$ -м інформативними відліками, а також визначають відповідні їм амплітудні прирости  $\Delta x_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ . Інтервали між сусідніми інформативними відліками містять інформацію про тривалість півхвилі  $j$ -ї частотної компоненти:  $\Delta t_i = \Delta t_{i+1} - \Delta t_i = 1/2f_i$ , де  $f_i$  – частота компоненти сигналу, що підлягає аналізу. Із приростів  $\{\Delta x_i\}$ , де  $\Delta x_i = |x_{i+1} - x_i|$ , отримуємо дані про амплітуду півхвиль. Шляхом сумування і усереднення  $\{\Delta x_i\}$ , які відносяться до однакових інтервалів  $\Delta t_i$ , отримуємо оцінку амплітуди спектральної складової  $j$ -ї частоти, тобто  $a_j = \frac{1}{2Q} \sum_{i=1}^Q \Delta x_i$ , де  $Q$  – кількість виміряних однакових по тривалості інтервалів між сусідніми інформативними відліками. Спектральна обробка інформативних відліків здійснюється на протязі  $k$  етапів, де  $k \leq \log_2 N$ , при цьому на кожному етапі виконуються наведені вище обчислення. Після усереднення значень  $\{\Delta x_i\}$  отримуємо характеристику  $S(t)$ , яка, з інженерної точки зору, в повній мірі відображає спектральні значення процесу  $x(t)$ .

### Формування завадостійких кодово-сигнальних послідовностей III

Враховуючи обмеження на робочу ширину смуги частот для функціонування СМ, що в свою чергу обмежує каналну швидкість передачі інформації, важливо на кожній ОС організувати мінімізацію кількості передач III обмеженої тривалості. Вирішення цього завдання здійснюється на основі експрес-обробки моніторингових даних засобами ОС з метою визначення найбільш інформативних даних, які підлягають першочерговій доставці (передачі) в локальну та центральну базу даних, а також за рахунок компактного кодування двійкових послідовностей III. Для зменшення тривалості III відповідні двійкові послідовності доцільно кодувати та передавати у вигляді сигнальних послідовностей мінімальної довжини. Основою формування компактних III засобами ОС є підхід, коли  $n$  – бітові послідовності,  $n = 2, 3, 4, \dots$  кодуються (заміщуються) відповідними сигнальними послідовностями, мінімальна тривалість яких  $t_b$  відповідає тривалості бітової послідовності  $T_b$ . В результаті виконання такого кодування формуються вихідні КСП, які подаються на модулятор (маніпулятор) радіопередавача ОС. В залежності від способу радіопередачі інформації (на основі маніпуляції або з використанням модуляції несучої радіопередавача) формуються дворівневі КСП або комбіновані КСП з використанням дворівневих, лінійних та нелінійних сигнальних послідовностей. В таблиці 1 наведені сигнальні послідовності, які забезпечують зменшення тривалості пакету даних в 2 рази. При цьому, як правило, в передавачах використовують частотну модуляцію. На рис. 1 наведені приклади заміни двійкових даних сигнальними послідовностями. При наявності, наприклад, більше трьох сигнальних ознак "одиночного" або "нульового" рівнів доцільно після третьої сигнальної ознаки використовувати спеціалізовану сигнальну ознаку, яка перериває тривалу "одиночну" або "нульову" послідовність. При  $n > 2$  доцільно визначати частоту зустрічі  $n$  – бітових послідовностей і тим послідовностям, які найчастіше зустрічаються – присвоюють менші по тривалості інтервальні сигнали. При використанні лінійних та нелінійних сигнальних послідовностей для заміщення  $n$  – бітових послідовностей, де  $n = 2, 3$ , коефіцієнт стиску даних  $k_3$ , відповідно, досягає величини  $k_3 \geq 2$ . В усіх випадках на приймальній стороні необхідно використовувати спеціалізовані приймачі, які при вибраній кількості сигнальних ознак, здійснюють аналіз та цифрову обробку вихідних даних демодулятора та розпізнавання прийнятої

Таблиця 1

Код	Сигнал	Сигнал після фільтрації
00		
01		
10		
11		

поточної сигнальної ознаки. Запропоноване підвищення швидкості передачі даних орієнтоване на використання в безпроводових сенсорних мережах у випадку виявлення чистого від шумів радіоканалу.

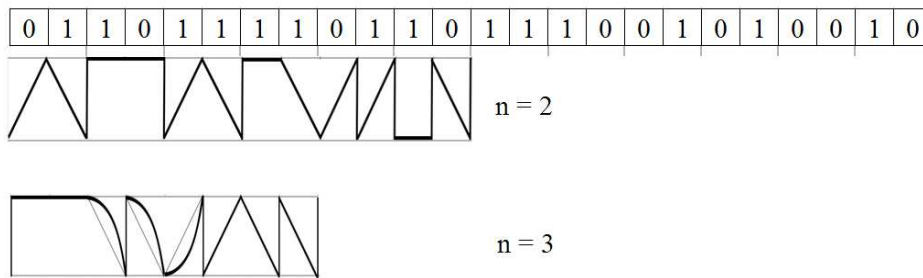


Рис.1. Приклади заміщення  $n$  – бітових послідовностей сигнальними послідовностями.

Підвищення завадостійкості передачі пакетів даних досягається за рахунок використання додаткових факторів в процесі кодування даних, що підлягають передачі, включаючи прорахунок нулів і одиниць первинного масиву даних (стислого та захищеного масиву даних) [9], тобто виконується підміна відповідних бітових послідовностей попередньо відомими бітами псевдовипадкових послідовностей, забезпечується перекодування двійкових даних в коді Грея (вноситься залежність між сусідніми бітами), здійснюється перемішування даних, виконується формування відповідних КСП, які передаються на модулятор передавача. Також використовується формування перевіркових кодів CRC даних пакетів. Коди CRC можуть передаватися декілька разів. Також ці коди можуть передаватися у вигляді шумоподібних сигналів. На приймальній стороні, з урахуванням вірно прийнятих сигнально-кодових послідовностей, введених факторів та способів кодування даних, забезпечується відновлення тих двійкових послідовностей, які були спотвореними каналними завадами. З метою реалізації завадостійкої передачі пакетів даних з підвищеною швидкістю при використанні мінімальної кількості сигнальних ознак, що значно спрощує декодер приймача ОС, актуальним завданням є розробка швидкодіючого методу завадостійкого кодування/декодування даних та формування КСП для передачі відповідних  $n$  – бітових послідовностей. Основою для зменшення кількості сигнальних ознак при формуванні КСП є уникнення тривалих однотипних  $m$  – бітових послідовностей в масиві даних, що підлягає передачі,  $m = 2,3$ . Для реалізації швидкодіючого завадостійкого кодування/декодування даних доцільне попереднє внесення залежностей між сусідніми бітами масиву даних без формування додаткової службової інформації. При цьому важливо змінювати (регулювати) кількість залежних сусідніх двійкових елементів масиву даних та характеристики залежності між відповідними елементами даних. Для оперативного відновлення спотворених  $n$  – бітових послідовностей на передавальній стороні, згідно прийнятих за основу поточних залежностей між сусідніми бітами, здійснюється багаточиклове кодування відповідних бітів даних по Грею. Суть кодування двійкових даних по Грею полягає в тому, що для двобітової послідовності  $x_k, x_l, x_k$  – старший бітовий розряд, формується код Грея, старший біт якого  $x_{kg}$  відповідає старшому розряду  $x_k$ , а наступний біт коду Грея  $x_{lg}$  дорівнює сумі по модулю два наступного біту  $x_l$  і попереднього біту  $x_k$ ,

тобто  $x_{lg} = x_l \oplus x_k$  (рис. 2,а). Обернене перетворення є наступним: старші розряди співпадають, тобто  $x_k = x_{kg}$ , а наступний двійковий код  $x_l$  дорівнює сумі по модулю два отриманого попереднього розряду двійкового коду  $x_k$  і наступного коду Грея  $x_{lg}$ , тобто  $x_l = x_k \oplus x_{lg}$  (рис. 2,б).

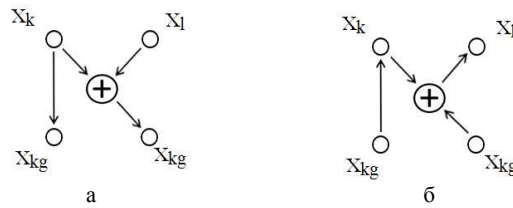


Рис. 2. Кодування та декодування двійкових даних по Грею

На рис. 3 наведені зв'язки між бітами масиву даних з виконанням логічних операцій сумування відповідних бітів по модулю два. При цьому на першому циклі кодування взаємозв'язками охоплюються поточні крайні біти із чотирьох сусідніх бітів, тобто в результаті їх сумування по модулю два визначаються біти  $X_i^1$ , де  $X_i^1 = X_{i-3} \oplus X_i$ ,  $i = 1, p$ . Перші три біти масиву даних окремо охоплюються зв'язками, утворюючи сусідні залежні пари бітів. На другому циклі кодування взаємозв'язками охоплюються поточні крайні біти із трьох сусідніх бітів, при цьому  $X_i^2 = X_{i-2}^1 \oplus X_i^1$ , а перші два біти окремо охоплюються зв'язками. На третьому циклі кодування взаємозв'язками охоплюються пари сусідніх бітів, при цьому  $X_i^3 = X_{i-1}^2 \oplus X_i^2$ . Таким чином, в результаті трьох циклового кодування даних для кожного поточного біту даних вноситься відповідна залежність з попередніми бітами. В даному випадку, починаючи з першого біту  $X_1$  до сьомого біту  $X_7$ , збільшується залежність до 7-ми сусідніх бітів, яка підтримується на протязі тривалості масиву даних, що підлягає кодуванню. При цьому характерною рисою даного трьох циклового кодування бітів даних по Грею є внесення залежностей між віддаленими сусідніми бітами масиву даних, а на останньому циклі взаємозалежними є сусідні біти, значення яких визначені на попередніх циклах.

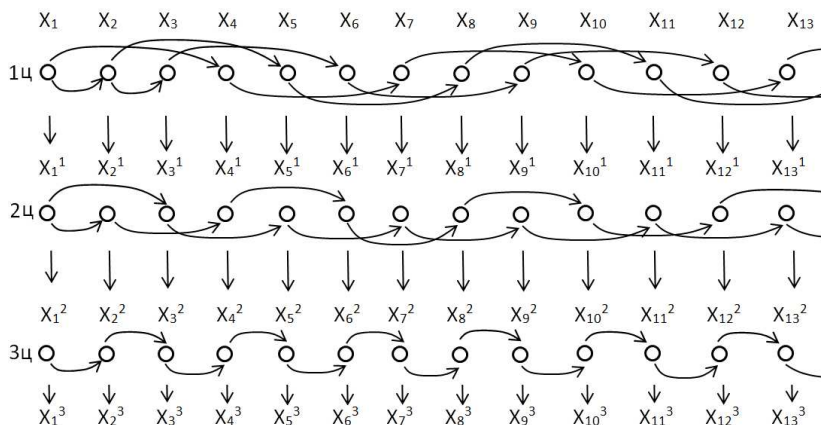


Рис. 3. Приклади трьох циклового кодування двійкових даних по Грею

В результаті виконання багато циклового кодування відповідних бітів даних по Грею на виході кодера завадостійкого кодування даних формується масив взаємозалежних бітів даних, який в процесі передачі П перетворюється в послідовності КСП. Для підвищення завадостійкості передачі П відповідні КСП підлягають перемішуванню. На приймальній стороні, після деперемішування прийнятих сигнально-кодкових послідовностей, у випадку враження шумами радіоканалу тих чи інших КСП в прийнятому потоці двійкових даних будуть присутні невідомі  $n$  – бітові послідовності. Для їх оперативного відновлення шляхом перебору можливих комбінацій  $n$  – бітових даних здійснюється відповідне декодування даних по Грею. При цьому для кожної із можливих комбінацій враженої  $n$  – бітової послідов-

ності, з урахуванням значень достовірно прийнятих бітів, які відповідають вірно прийнятим сигнально-кодним послідовностям, після декодування визначаються можливі значення відновлених даних на короткому інтервалі. В подальшому, для різних версій отриманих можливих значень відновлених даних на приймальної стороні здійснюється відповідне кодування даних по Грею. По результатах співпадання визначених даних по Грею з достовірно прийнятими бітами приймається рішення про достовірне відновлення відповідної версії можливих значень відновлених даних, яке підтверджується співпаданням перевіркових кодів CRC.

### Висновки

1. Досягнення високої інформаційної ефективності передачі даних в СМ забезпечується за рахунок розміщення в місцях зародження інформаційних потоків моніторингових даних (сигналів, відеосигналів, масивів даних) високопродуктивних ОС, засоби яких реалізують комплекс алгоритмів оперативного оброблення, кодування та шифрування даних, формування компактних і захищених пакетів інформації, при цьому кожна ОС повинна мінімізувати кількість передач пакетів.

2. Основа для зменшення кількості передач пакетів є реалізація засобами ОС оперативних методів компактного кодування даних, оптимізованих за швидкодією і точністю кодування даних та формування компактних кодово-сигнальних послідовностей пакетів, при цьому основою якісного та оперативного стиску і відновлення сигналів і відеосигналів є збереження амплітудно-часових характеристик суттєвих та вагомих відліків обвідних кривих (відповідних екстремумів та точок перегину), а основними обчислювальними операціями є усереднення поточних відліків сигналів в адаптивно визначеному вікні усереднення даних та визначення різницевої амплітудних значень відфільтрованих відліків і суттєвих відліків.

3. Для оперативного формування компактних та завадостійких КСП ІІ між бітами даних кадру вносяться відповідні взаємозалежності по Грею.

### Література

1. Шевчук Б.М. Технологія багатофункціональної обробки і передачі інформації в моніторингових мережах/ Б.М. Шевчук, В.К. Задірака, Л.О. Гнатів, С.В. Фраєр// – К.: Наук. думка, 2010. – 370 с.
2. Шевчук Б.М. Оброблення, кодування та передавання даних засобами абонентських систем інформаційно-ефективних радіомереж/ Б.М. Шевчук// Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2010. - №9. – С. 130-139.
3. Шевчук Б.М. Оперативне формування і передавання компактних, криптистійких та завадостійких пакетів інформації у радіомережах/ Б.М. Шевчук// Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2011. - №10. – С. 143-152.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение/ Б.Скляр// 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.
5. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи/ И.А. Голяницкий// – М.: Эко-трендз, 2005. – 440 с.
6. Шевчук Б.М. Високоінформативна обробка та кодування сигналів і зображень в мережах дистанційного моніторингу станів об'єктів/ Б.М. Шевчук, В.П. Зінченко, С.В. Фраєр// Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2008. №2. – С. 89-96.
7. Шевчук Б.М. Эффективные методы и алгоритмы оперативного сжатия сигналов и изображений, ориентированные на построение объектных систем сенсорных сетей/ Б.М. Шевчук// Компьютерная математика. – 2012. - №2. – С. 100-106.
8. Пономарёва И.Д. Сверхбыстрый спектральный анализ/ И.Д. Пономарёва, Г.В. Цепков// Проблемы управления и информатики. – 1998. - №1. – С. 107-114.
9. Николайчук Я.М. Дослідження ефективності формування сигнальних кодів/ Я.М. Николайчук Т.М. Гринчишин, О.М. Заставний, А.Р. Воронич// Комп'ютерні системи та компоненти. – Науковий вісник Чернівецького університету, 2009. – Вип. 479. – С. 114 – 125.

Стаття надійшла: 25.02.2013.

### Відомості про автора

**Шевчук Богдан Михайлович** – к.т.н., старший науковий співробітник Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, м. Київ, [incors@ukr.net](mailto:incors@ukr.net).