

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

B. Shevchuk, V. Zadiraka, S. Frayer

ALGORITHMIC BASIS INCREASE INFORMATION EFFICIENCY OF DATA TRANSMISSION IN SENSOR NETWORKS

The algorithms of compression and data protection for building information-efficient wireless sensor networks.

Key words: compression and video signals, compression data sets keyframes.

Предложены алгоритмы сжатия и защиты данных для построения информационно-эффективных беспроводных сенсорных сетей.

Ключевые слова: сжатие сигналов и видеосигналов, сжатие массивов данных, ключевые кадры.

Запропоновані алгоритми стиску та захисту даних для побудови інформаційно-ефективних безпроводних сенсорних мереж.

Ключові слова: стиск сигналів та відеосигналів, стиск масивів даних, ключові кадри.

© Б.М. Шевчук, В.К. Задірака,
С.В. Фраєр, 2013

УДК 681.31

Б.М. ШЕВЧУК, В.К. ЗАДІРАКА, С.В. ФРАЄР

АЛГОРИТМІЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Сучасні сенсорні радіомережі з самоорганізацією передачі пакетів інформації є основою для побудови локально-регіональних мереж та їх широкого застосування в промисловості, в спортивній медицині, телемедицині, для вирішення завдань екомоніторингу, в задачах дистанційної передачі інформації з бортових систем мобільних роботів, безпілотних апаратів та інших об'єктів. Враховуючи обмеження на частотні ресурси ISM-діапазону частот (ISM – Industrial, Scientific, Medical) подальшою перспективою розвитку сенсорних мереж (СМ) є мінімізація кількості передач інформаційних пакетів (ІП) кожною об'єктною системою СМ з урахуванням реалізації надійної, безконфліктної і захищеної (крипостійкої та завадостійкої) передачі пакетів між віддаленими абонентами коміркових мереж. Ефективна передача інформації в СМ досягається шляхом реалізації процесорами об'єктних систем (ОС) комплексу взаємодоповнюючих методів та алгоритмів оброблення та кодування сигналів, компактного та криптостійкого кодування двійкових масивів даних, формування завадостійких сигнально-кодових послідовностей пакетів [1–3], які направляються на модулятор (маніпулятор) радіопередавача ОС.

З появою високопродуктивних контролерів на основі процесорного ядра ARM (ARM9, ARM11, Cortex M3, M4, Cortex-A5, A8, A9), а також наявності на ринку електронних засобів сигнальних процесорів провід-

них компаній забезпечується технологічна основа для побудови високопродуктивних апаратно-програмних засобів ОС СМ. Широке застосування СМ, які є первинною ланкою спеціалізованих мереж та систем (моніторингових та ін.), не можливе без передачі зображень та відеоданих. Для широкого використання мережевих засобів збору, оброблення та передавання вихідних сигналів датчиків і сенсорів, відеоінформації (фіксованих зображень, рухомого відео) актуальним завданням є розроблення комплексу взаємодоповнюючих алгоритмів оброблення і кодування вхідних потоків даних, оптимізованих по швидкодії і точності кодування та відновлення даних з урахуванням реалізації надійної та захищеної (криптостійкої і завадостійкої) передачі пакетів інформації між віддаленими абонентами комірок СМ.

Мета даної роботи – розробка та опис взаємодії ефективних алгоритмів компактного, криптостійкого і завадостійкого кодування сигналів, відеосигналів (рухомих та нерухомих зображень), а також двійкових масивів даних з урахуванням обмеженої продуктивності процесорів і спеціалізованих пристроїв абонентських (об'єктних) систем СМ. За рахунок оперативної реалізації комплексу ефективних алгоритмів кодування даних суттєво підвищується швидкість передачі інформації в СМ, яка значно перевищує каналну швидкість передачі інформації (250 Кбіт/с), а в канал зв'язку відправляються компактні, криптостійкі та завадостійкі пакети інформації. Такі СМ та їх складові – абонентські системи (АС) – ОС(АС) – доцільно вважати інформаційно-ефективними.

Досягнення надійної, захищеної та швидкісної передачі інформації в СМ ґрунтується на комплексній взаємодії процесорних засобів ОС(АС), спеціалізованих пристроїв (кодеків, прийомопередавачів захищених ПП, радіомодулів) для підтримки поточної максимальної швидкості передачі інформації R_{\max} , яка залежить від адаптивної зміни та підтримки оптимальних величин багатьох параметрів. При цьому справедлива наступна залежність:

$$R_{\max} = f(F, E_{IS} / N_0, K_c, 1/T_{IS}, L/B, P_p, T_0, \log_2 M_m, E_{ac}),$$

де F – робоча смуга частот каналу зв'язку; E_{IS} / N_0 – енергетичне співвідношення сигналу до шуму, E_{IS} – енергія інформаційного символу ($E_{IS} = S \cdot T_{IS}$, S – потужність сигналу, T_{IS} – тривалість інформаційного символу), N_0 – спектральна густина потужності шуму, $E_{IS} / N_0 \rightarrow (E_{IS} / J_0)_n$, $(E_{IS} / J_0)_n$ – необхідне енергетичне співвідношення сигналу до шуму, $J_0 = J / F \gg N_0$, J – середня потужність сумарних завад; $L \leq B/4$ – кількість кодових моноканалів у спільній смузі частот F , $B = S \cdot T_{IS}$ – база сигналу (коефіцієнт розширення спектра сигналу); K_c – сумарний коефіцієнт стиску даних; P_p – продуктивність абонентських процесорів, яка суттєво впливає на час оброблення T_0 і час коду-

вання T_c даних; M_m – кількість станів каналних сигналів (рівнів або позицій маніпуляції несучої); E_{ac} – ефективність алгоритмів кодування.

Послідовність виконання взаємодоповнюючих алгоритмів функціонування засобів ОС(АС) складається з наступних операцій: стиску амплітудно-часових параметрів найбільш інформативних (суттєвих відліків) обвідних сигналів (відеосигналів) з допустимими втратами інформації; оперативного стиску-захисту даних без втрат; оперативного завадостійкого кодування даних з формуванням перевірових кодів та використанням перемішування бітів даних; формування компактних кодово-сигнальних послідовностей. При введенні і обробці сигналів (відеосигналів) оперативно визначаються та компактно кодуються амплітудно-часові характеристики суттєвих відліків (СВ). Основою стиску та якісного відновлення сигналів (відеосигналів) є збереження характеристик обвідних 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 визначати 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, $n = 4, 5, 6, \dots$). 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 у 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, зменшення кількості СВ, перш 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 ΔX_i^F – поточний приріст сусідніх відліків відфільтрованого сигналу, ΔF_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 вважа-

ється ділянка сигналу яку утворюють два і більше сусідніх СВ, для яких виконується умова: $\Delta X_{CBi}^N < \delta_d^N$, де $\Delta X_{CBi}^F = |X_{CBi}^F - X_i|$ – оперативно визначена оцінка показника вхідного співвідношення сигнал/шум для i -го відфільтрованого СВ X_{CBi}^F , X_i – амплітудне значення вхідного сигналу, часовий відлік якого відповідає СВ X_{CBi}^F , δ_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 ΔX_{CBi}^F в околиці СВ можливі різноманітні обчислення оцінки вхідного співвідношення сигнал/шум, які задає дослідник з урахуванням особливостей прикладних досліджень. В швидкодіючому 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_p. 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. Алгоритм працює так:

Крок 1. Фільтрація (усереднення) вхідних відліків сигналу для приблизного визначення амплітудно-часових характеристик екстремумів СВ-Е_p.

Крок 2. Пошук і визначення параметрів СВ-Е_p та відповідних їм показників вхідного співвідношення сигнал/шум ΔX_{CB}^N .

Крок 3. Визначення інтервалу опиту сигналу для пошуку та визначення параметрів наступного СВ-Е_p.

Крок 4. $\Delta X_{CDi}^N = \Delta X_{CBi+1}^N$? Так: реалізація кроків 2 і 3 з інтервалом опиту сигналу, визначеного на кроці 3. Ні: крок 5.

Крок 5. Знайдена ділянка чиста від шумів? Так: кроки 6 і 7. Ні: крок 8.

Крок 6. Уточнення амплітудно-часових параметрів всіх СВ ділянки з використанням відліків вхідної вибірки сигналу.

Крок 7. Різницеве кодування амплітудних та часових параметрів СВ ділянки з використанням q_{\max} кількості біт.

Крок 8. Різницеве кодування параметрів СВ зашумлених ділянок з використанням q_{\min} кількості біт.

Крок 9. Кінець вибірки сигналу? Ні: введення наступної вибірки сигналу (крок 1). Так: кінець.

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. 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:

$$t_v = f(\Delta X_{CBi}^N, \{\Delta X_{CBj}^F\}),$$

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_{*j-1*} і СВ_{*j*}, r – максимальна кількість відліків між сусідніми СВ. Структура алгоритму адаптивного компактного кодування відліків сигналу показана на рис. 1. Алгоритм працює наступним чином:

Крок 1. Ініціалізація змінних (q_{\max} , q_{\min} , δ_d^N , L_v), де L_v – довжина вибірки відліків сигналу, яка кодується за один прохід алгоритму.

Крок 2. Ініціалізація номеру вибірки даних.

Крок 3. Загрузка вхідних даних в буфер, який зберігає поточну вибірку даних, що підлягає обробці і кодуванню.

Крок 4. Попередня фільтрація проріджених відліків поточної вибірки даних.

Крок 5. Встановлення початку першої ділянки в поточній вибірці даних.

Кроки 6–9. Пошук границь однотипної ділянки (початку і кінця) за показником вхідного співвідношення сигнал/шум ΔX_{CB}^N .

Крок 10. Розгалуження алгоритму в залежності від показника ΔX_{CB}^N .

Крок 11. Кодування відліків зашумленої ділянки з використанням q_{\min} .

Крок 12. Пошук нових СВ на ділянці з урахуванням крутизни ділянки (при виборі інтервалу опиту t_v зі зміною крутизни ділянки більш пріоритетним є менший інтервал опиту, тобто граничним відліком між ділянками є відлік ділянки з меншим інтервалом t_v , а останнім відліком нової підділянки є відлік з більшим інтервалом опиту).

Крок 13. Кодування СВ чистої ділянки з використанням q_{\max} .

Кроки 14–15. Пошук границь наступної однотипної ділянки (початку і кінця) за показником ΔX_{CB}^N .

Кроки 16–17. Завантаження нової порції вхідних даних у буфер. Алгоритм завершує свою роботу при завершенні введення сигналу.

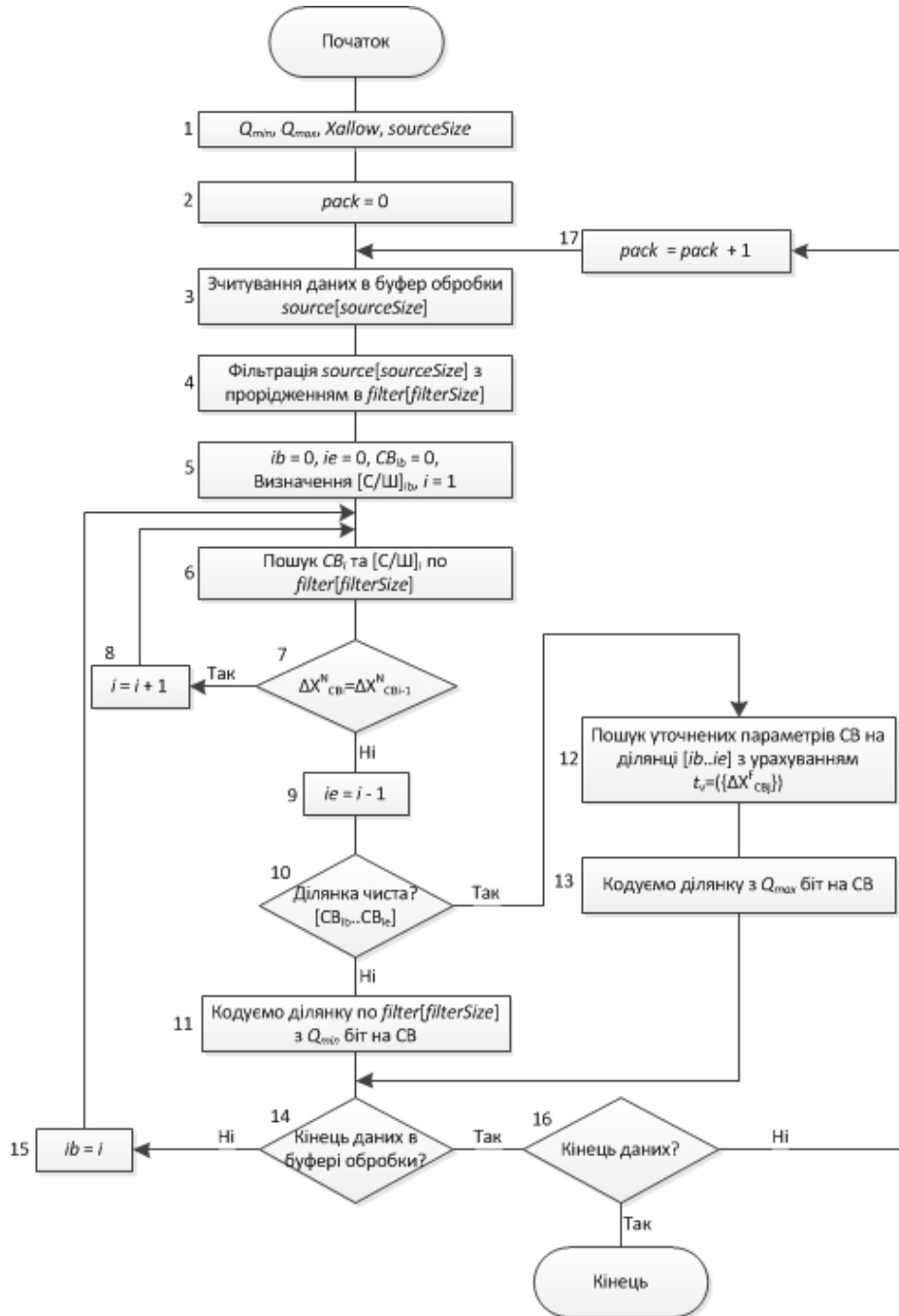


РИС. 1. Структура алгоритму компактного кодування відліків сигналу
Комп'ютерні засоби, мережі та системи. 2013, № 12

Подальше стиснення даних досягається за рахунок реалізації алгоритму компактного кодування масивів даних без втрат, наприклад, з використанням словника. Структура такого алгоритму з формуванням криптозахищеної інформації показана на рис. 2. Алгоритм працює наступним чином:

Крок 1. Введення n -бітових символів вхідного масиву даних, де $n = 4, 5, 8, 7, 8$. Введення СК.

Крок 2. Генерація бітів ПВП на основі СК. Створення пустого словника.

Крок 3. Розгалуження алгоритму в залежності від наявності i -го (поточного) символу в словнику.

Кроки 4–5. Якщо i -й символ є у словнику то визначаємо його m -бітовий порядковий номер в словнику. Визначений m -бітовий номер гаміюємо з поточними m бітами ПВП. Поточні m біт ПВП зсуваємо на m біт.

Кроки 6–7. Якщо n -бітовий символ відсутній у словнику то записуємо його в кінець словника. Якщо для представлення максимального номеру символу зі словника не достатньо m біт то збільшуємо m на одиницю ($m = m + 1$). Гаміюємо n -бітовий символ з поточними n бітами ПВП. Зсуваємо поточні n біт ПВП на n біт.

Крок 8. Записуємо у вихідну послідовність m - або n -бітовий закодований символ чи його номер.

Крок 9. Переходимо до обробки наступного символу.

Крок 10. Розгалуження алгоритму з урахуванням завершення потоку вхідних символів і якщо є наступний символ, то переходимо до кроку 3.

Крок 11. Формування стислого та криптозахищеного масиву даних. Кінець.

Для передачі відеоданих по низькошвидкісним каналам СМ, в залежності від продуктивності абонентського процесора, прикладної орієнтації та галузі застосування відеокодека здійснюється прорідження відеокадрів. У процесі компактного кодування вибірок відеосигналів поточних кадрів визначаються СВ та показники їх інформативності. На основі отриманих даних у кожному кадрі, що підлягає аналізу, визначають інформативність рядків та поточного кадру, після чого визначаються ключові кадри, компактні дані яких підлягають накопиченню у 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. Структура алгоритму компактного кодування відеоданих показана на рис. 3. Алгоритм працює наступним чином:

Крок 1. Введення та компактне кодування першого ключового кадру.

Крок 2. Виконання циклу, послідовно аналізуючи поточні кадри для пошуку наступного ключового кадру (КК) (кроки 2–5).

Крок 3. Пошук СВ на поточному кадрі, що аналізується.

Крок 4. Визначення показників інформативності СВ попередньо знайденого КК і поточного кадру.

Крок 5. Відмінності СВ перевищують допуск? Ні: поточний кадр не ключо-

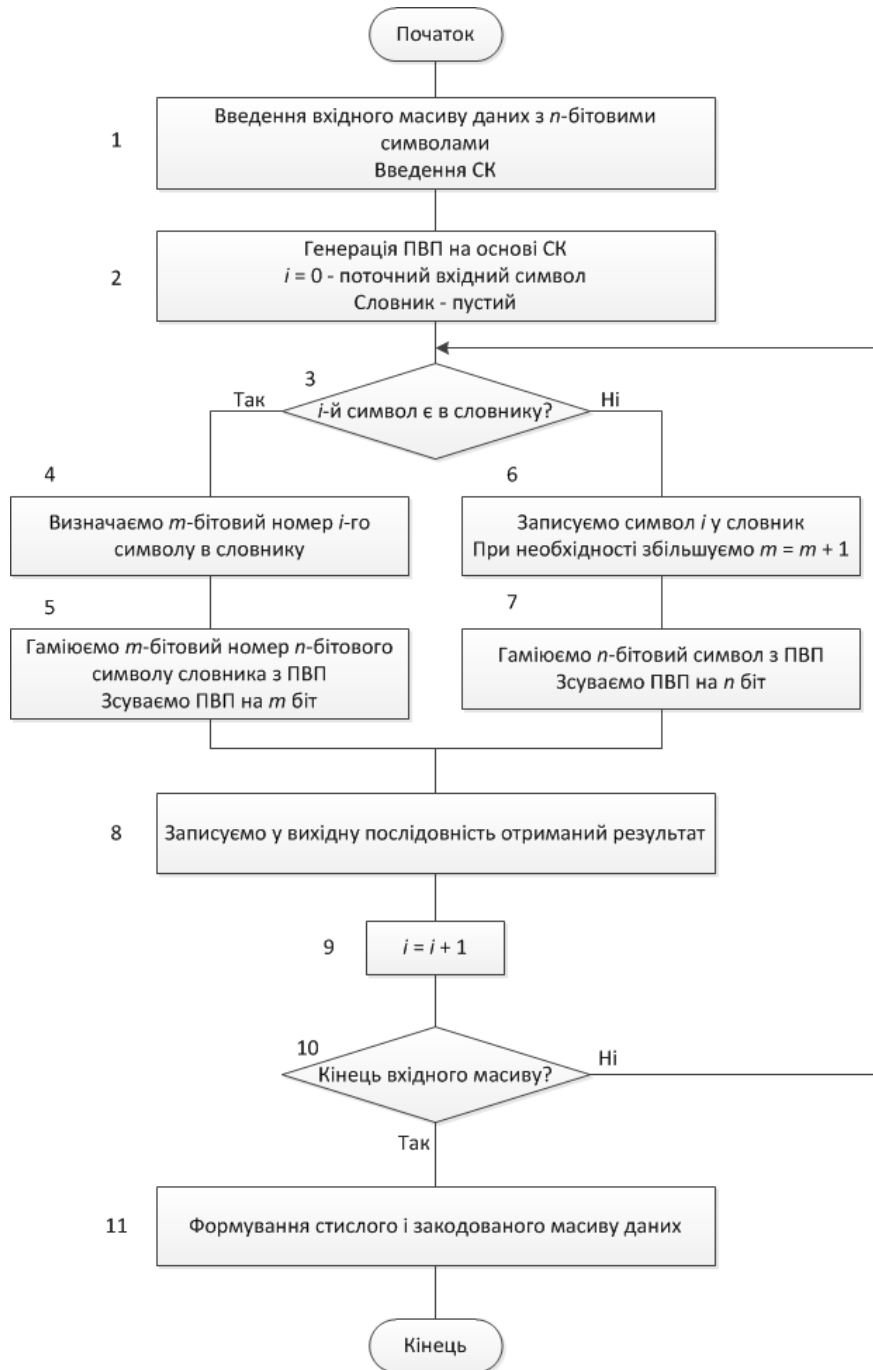


РИС. 2. Структура словникового алгоритму стиску даних без втрат

вий. Перехід до аналізу наступного кадру (крок 3). Так: крок 6.
Крок 6. Поточний кадр є ключовим. Компактне кодування СВ КК.

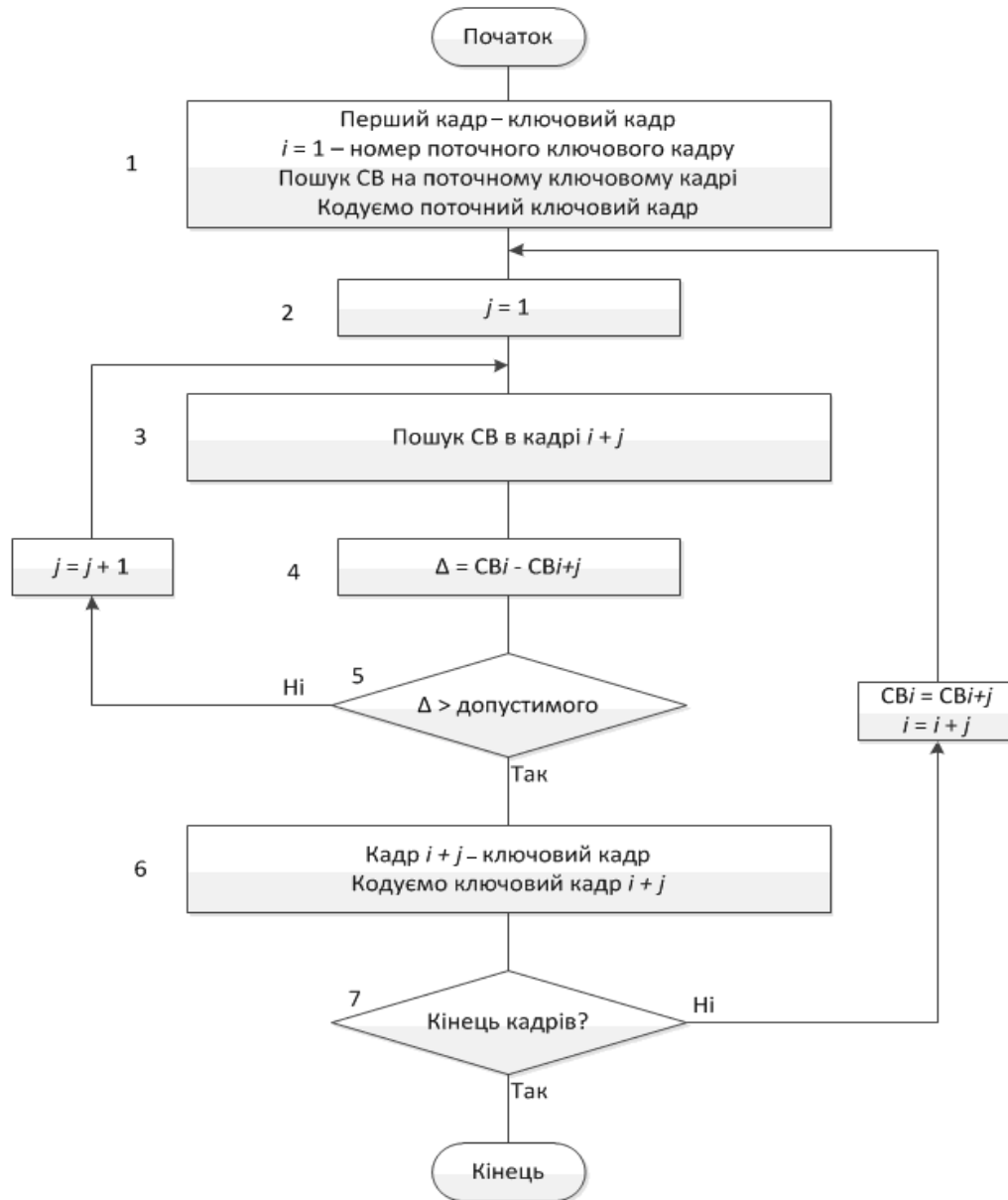


РИС. 3. Структура алгоритму компактного кодування відеоданих

Крок 7. Кінець кадрів?

Ні: перехід до аналізу наступного кадру.

Так: кінець.

Висновки. Запропоновані алгоритми формування компактних та захищених масивів вимірювальних даних, вихідних даних аналогових і цифрових датчиків, а також вихідних даних відеосенсорів орієнтовані на використання при побудові малогабаритних об'єктних систем сенсорних мереж широкого застосування. Отримані беззбиткові масиви даних накопичуються у flash-пам'яті об'єктних систем, а при передачі пакетів інформації отримані псевдохаотичні дані відправляються на засоби формування завадостійких кодово-сигнальних послідовностей.

1. Шевчук Б.М., Задірака В.К., Гнатів Л.О. та інші. Технологія багатofункціональної обробки і передачі інформації в моніторингових мережах. – К.: Наук. думка, 2010. – 370 с.
2. Шевчук Б.М. Оброблення, кодування та передавання даних засобами абонентських систем інформаційно-ефективних радіомереж // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2010. – № 9. – С. 130 – 139.
3. Шевчук Б.М. Оперативне формування і передавання компактних, криптостійких та завадостійких пакетів інформації у радіомережах // Там само. – 2011. – № 10. – С. 143 – 152.

Одержано 25.03.2013