

Проблемы информационного пространства и информационной безопасности

УДК 681.31

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

Підвищення ефективності передачі інформації в моніторингових мережах на основі оптимізації обчислень в процесі кодування даних засобами об'єктних систем сенсорних мереж

Предложена реализация комплекса взаимодополняющих алгоритмов обработки, кодирования и передачи данных с применением оптимизированных по быстродействию и точности кодирования алгоритмов сжатия и защиты данных, формирования интервальных кодово-сигнальных последовательностей защищенных пакетов информации.

The implementation of the complementary processing algorithms set, coding and measuring signals transmission using the optimized for speed and accuracy of coding compression algorithms and data protection formation of the interval code-signals sequence of protected information is presented.

Запропоновано реалізацію комплексу взаємодоповнюючих алгоритмів оброблення, кодування та передавання даних з використанням оптимізованих за швидкодією та точністю кодування алгоритмів стиску і захисту даних, формування інтервальних кодово-сигнальних послідовностей захищених пакетів інформації.

Вступ. Дистанційний моніторинг об'єктів різноманітної природи, процесів, явищ та подій досягається шляхом оперативної реалізації операцій введення, оброблення, кодування і передавання даних, що підлягають контролю у віддалених місцях відбору моніторингової інформації. *Об'єктами моніторингу* (ОМ) можуть бути промислові, сільськогосподарські і комунальні об'єкти, транспортні засоби, об'єкти екомоніторингу, біооб'єкти, оператори людино-машинних систем, спортсмени, пацієнти медичних закладів та ін. Серед процесів і подій, які підлягають тривалому моніторингу слід виокремити реалізацію технічних процесів у виробництві, якість виробництва складних технічних об'єктів, охоронний моніторинг стаціонарних і рухомих об'єктів, відеомоніторинг об'єктів, моніторинг територій із застосуванням літальних апаратів, контроль транспортних засобів та ін. Виконання завдань дистанційного моніторингу об'єктів і процесів досягається шляхом встановлення в місцях відбору даних, що підлягають контролю, *об'єктних систем* (ОС) безпроводових мереж [1–3], які забезпечують передачу інформативних даних на віддалену центральну станцію моніторингової мережі. При цьому в місцях утворення інформа-

ційних потоків, тобто в місцях встановлення ОС, важливо реалізувати комплекс алгоритмів обробки і кодування моніторингових даних [4–6] для реалізації оперативної передачі достовірних і захищених (криптостійких та завадостійких) даних по безпроводових каналах зв'язку.

Враховуючи віддаленість і рухомість ОМ актуальною проблемою є реалізація надійної і захищеної передачі пакетів моніторингових даних від ОС *безпроводових мереж* (БМ) до засобів ретрансляції (роутерів) *інформаційних пакетів* (ІП) на центральну станцію моніторингової мережі. Пакети вимірювальних даних, моніторингових сигналів, відеоданих, включено фіксовані і рухомі зображення підлягають передачі і ретрансляції. На даному етапі розвитку БМ для виконання завдань моніторингу об'єктів широкого розповсюдження отримали *безпроводові сенсорні мережі* (БСМ) [7–11], об'єктні процесорні засоби яких відрізняються обмеженою обчислювальною продуктивністю, низьким споживанням потужності від автономних джерел живлення, передачею вимірювальних величин і сигналів в режимі самоорганізації передачі і ретрансляції пакетів даних між віддаленими сусідніми абонентами мережі. В той же час БСМ характеризуються відносно неви-

сокою швидкістю передачі інформації (250, 500 Кбіт/с), а в режимі самоорганізації передачі пакетів між віддаленими абонентами, через додаткові процеси визначення оптимальних шляхів з наявних альтернативних напрямків ретрансляції пакетів, швидкість передачі інформації зменшується приблизно на порядок [12]. При цьому в місцях формування інформаційних потоків моніторингової мережі не здійснюється аналіз вхідних даних на вірогідність, що приводить до завантаження каналів зв'язку недостовірними даними. Тому не вирішеними проблемами при побудові ефективних і надійних безпроводових моніторингових мереж залишаються завдання відбору і передачі ОС БМ достовірних вимірювальних даних, вимірювальних сигналів, відеоданих, реалізації обмеженими обчислювальними засобами ОС надійної і захищеної передачі пакетів інформації в радіоканалах з шумами.

Метою статті є розробка теоретичних і алгоритмічних основ реалізації високошвидкісної, надійної і захищеної передачі пакетів різнорідної моніторингової інформації (сигналів, відеоданих, масивів даних) в сенсорних і локально-регіональних безпроводових мережах. Високошвидкісна передача пакетів інформації досягається шляхом реалізації процесорними модулями ОС оптимізованих за швидкодією і точністю кодування інформативних відліків сигналів і відеосигналів, оперативного стиску і криптистійкого захисту масивів даних, формування *кодово-сигнальних послідовностей* (КСП) пакетів інформації, мінімізованих за тривалістю. Надійна і захищена передача пакетів досягається шляхом адаптації алгоритмів завадостійкого кодування даних і формуванням КСП-пакетів в залежності від рівня завад у радіоканалі, криптистійкого кодування даних пакетів з використанням асиметричної криптографії, коли кожний абонент мережі володіє закритим ключем, відомим тільки йому.

Теоретичні і алгоритмічні основи підвищення ефективності функціонування моніторингових мереж

Основна проблема в реалізації ефективного моніторингу віддалених об'єктів, процесів і по-

дій полягає в організації оперативної доставки на центральну станцію моніторингової мережі (у центральний сервер) достовірних інформативних даних, які передаються радіоканалами з шумами. При цьому важливо передавати масиви даних, сигнали, відеодані, що підлягають оперативному аналізу, від об'єктів і точок відбору інформації до різноманітних засобів ретрансляції (точок доступу) моніторингових даних до обчислювальних ресурсів комп'ютерних мереж. Необхідно також мати можливість передачі даних, які підлягають контролю і аналізу, резервними радіоканалами у альтернативних напрямках доставки моніторингової інформації до центрального сервера.

Сучасні технології побудови безпроводових мереж розвиваються в напрямку самоорганізації передачі пакетів інформації між сусідніми абонентськими системами з децентралізованим керуванням передачею даних [7, 10]. На рис. 1 подано характерні структури радіомереж: *ad-hoc*, розгалужену та коміркову. Кожна з них характеризується перевагами та недоліками [7, 9, 10, 12].

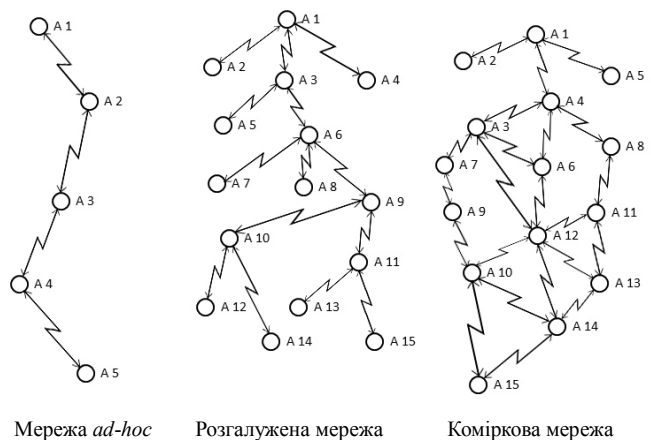


Рис. 1

В основу функціонування цих мереж покладено передачу ІІ між сусідніми *абонентами* (А). Передача ІІ на великій відстані здійснюється в режимі ретрансляції пакетів від сусіднього абонента до сусіднього, а в розгалужених і коміркових мережах передача інформації реалізується з формуванням альтернативних шляхів ретрансляції пакетів. Оскільки самоорганізація передачі ІІ [12] приводить до суттєвого пониження швидкості передачі інформації з метою

підтримки високої швидкості передачі ІІ, перевагу доцільно віддати розгалуженій структурі мережі з попередньо визначеними альтернативними шляхами ретрансляції пакетів.

Підвищення ефективності функціонування безпроводових моніторингових мереж без ускладнення обладнання ОС БМ, що є основою їх широкого застосування, досягається реалізацією на інформаційному рівні засобів ОС комплексу оптимізованих алгоритмів, пов'язаних з введенням (відбором) моніторингової інформації в мережу, обробленням, кодуванням та передаванням двійкових масивів даних у ланці «джерело інформації ↔ засоби введення інформації ↔ ОС БС ↔ мережа передачі та ретрансляції даних ↔ центральна станція мережі (інші абоненти)» [1–6]. Ефективність передачі пакетів досягається зменшенням інформаційних потоків в місцях встановлення ОС шляхом адаптації кодування вхідних даних в залежності від якості введення даних (відліки чистих від шумів ділянок сигналів кодуються з підвищеною частотою опитування і більш точно (з максимальною кількістю біт АЦП), а відліки ділянок з шумами кодуються мінімальною частотою опитування та мінімальною кількістю біт [1, 4, 6]), формуванням пакетів, КСП яких вибираються в залежності від рівня шумів в радіоканалі [1, 2]. При заданій величині робочої смуги частот F максимальна канална швидкість передачі інформації $R_{c\max} \leq 2F/k_s$, де $k_s > 1,4 \dots 1,8$ [7] – коефіцієнт, що враховує якість відновлення фронтів цифрових (імпульсних) сигналів. В результаті реалізації комплексу алгоритмів засобами ОС в процесі введення, обробки і кодування моніторингових даних або введення, накопичення, обробки і кодування даних здійснюється адаптація алгоритмів в залежності від рівня шумів у вхідних ланках засобів введення даних та рівня шумів в радіоканалі. За заданої ймовірності помилкового прийому кодових послідовностей P_n поточна швидкість передачі R_i є змінною і залежить від вибору ключових параметрів процесів введення, кодування та передавання даних, тобто

$$R_i = f(F, P_n, K_c(\delta_d^N), (E_{is}/J_0)_n, L/B(\gamma_i)),$$

де $K_c(\delta_d^N)$ – коефіцієнт стиску даних на інформаційному рівні засобів ОС, який суттєво залежить від допустимої величини рівня вхідних шумів δ_d^N в околиці *суттєвих відліків* (СВ) сигналів [1], $(E_{is}/J_0)_n$ – необхідне енергетичне співвідношення сигнал/шум в каналі зв'язку, $E_{is} = S \cdot T_{is}$, S – потужність сигналу, T_{is} – тривалість інформаційного сигналу (КСП), $J_0 = J/F$, J – середня потужність сумарних завад в радіоканалі $((E_{is}/J_0)_n \approx (S/J) \cdot B)$ [7], $B = F \cdot T_{is}$ – база каналного сигналу (коефіцієнт розширення спектра сигналу), γ_i – поточне енергетичне співвідношення $(E_{is}/J_0)_i$, $L \leq B/4$ [13] – кількість ортогональних сигналів, які асиметрично можна передавати в загальному радіоканалі зі смугою F (величина L відповідає кількості незалежних кодових моноканалів в смузі частот F).

Отже, підвищення ефективності функціонування безпроводових моніторингових мереж досягається шляхом оперативної реалізації в місцях введення вимірювальних сигналів та відеосигналів комплексу алгоритмів зменшення надлишковості та підвищення захищеності інформативних даних [4, 8], що підлягають накопиченню засобами ОС СМ та передачі і ретрансляції сусідніми ОС в центральний сервер моніторингової мережі. В результаті мінімізації інформаційних потоків кожною ОС збільшується інформаційна ємність ІІ, зменшується їх довжина або тривалість передачі ІІ в порівнянні з передачею пакетів двійкових даних заданого обсягу, а також зменшується кількість пакетів, що підлягають передачі і ретрансляції по спільних каналах зв'язку. Підвищення захищеності передачі ІІ, включаючи підвищення криптостійкості та завадостійкості пакетів унеможливорює доступ до первинних даних несанкціонованих користувачів моніторингової мережі та мінімізує кількість повторних передач ІІ в радіоканалах з шумами.

Зменшення надлишковості моніторингових даних засобами ОС СМ здійснюється послідовно в три етапи [1, 2, 4, 14]: в процесі реаліза-

ції оперативної фільтрації та стиску сигналів (відеосигналів) з допустимими втратами інформації, в процесі стиску та захисту даних без втрат та в процесі формування завадостійких інтервальних КСП-пакетів інформації мінімальної тривалості. В процесі стиску даних з допустимими втратами, в залежності від прикладних завдань та умов введення моніторингових даних здійснюється компактне кодування інформативних відліків обвідних сигналів і відеосигналів. Точність кодування відліків та їх достовірність суттєво залежать від умов введення даних, величини вхідного співвідношення сигнал/шум на відповідних ділянках сигналів, а також в залежності від поточної інформативності ділянок сигналів та кадрів відеоданих [1, 4, 6]: на ділянках з шумами та неінформативних ділянках відліки сигналів кодуються з меншою частотою опитування та меншою кількістю біт, а в процесі введення відеоданих точному кодуванню підлягають відліки ключових кадрів. З урахуванням обмеженої продуктивності процесорного модуля ОС та наявного часу на кодування даних доцільно реалізувати оперативний метод стиску даних без втрат з одночасним їх захистом на рівні формування беззбиткових та криптостійких (псевдохаотичних) даних [1, 4, 15], при цьому правила формування компактних та псевдохаотичних даних постійно змінюються і відомі тільки відправнику та приймачу пакетів. В результаті несанкціоновані користувачі моніторингової мережі позбавляються доступу до первинних даних. Стислі та криптостійкі дані підлягають завадостійкому кодуванню [1, 16], після чого готові до накопичення на електронних носіях або передачі по каналах зв'язку. В залежності від рівня шумів в каналі зв'язку віддалені абоненти (передавач і приймач ІІ) у процесі встановлення зв'язку узгоджують параметри формування КСП-пакетів даних. З метою оптимізації процесу формування компактних КСП ІІ [1, 2, 14] у вихідному потоці даних мають бути відсутні тривалі послідовності однотипних бітів. В результаті реалізації комплексу взаємодоповнюючих алгоритмів засобами інформаційного рівня ОС забезпечується ефективна пере-

дача пакетів інформації з урахуванням оптимізації величин $K_c(\delta_d^N) \rightarrow \max K_c$ і $B(\gamma_i) \rightarrow B_{\min}$, де $K_c = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$, k_1 – коефіцієнт стиску даних з допустими (контрольованими) втратами інформації, який обмежується особливостями прикладних досліджень і завдань, k_2 – коефіцієнт стиску даних без втрат, k_3 – коефіцієнт зменшення тривалості ІІ в процесі формування КСП-пакетів [1, 2], який відповідає додатковому коефіцієнту стиску без втрат в процесі передачі ІІ мінімальної тривалості.

В процесі оперативної обробки і кодування сигналів (відеосигналів) на основі аналізу знаків різницевих значень ΔX_i^F і $\Delta(\Delta X_i^F)$ визначаються амплітудно-часові параметри суттєвих (найбільш інформативних) відліків обвідних сигналів, включаючи екстремуми та точки перегину кривої [6, 17, 18], де $\Delta X_i^F = X_i^F - X_{i-1}^F$ – поточний приріст сусідніх відліків X_i^F і X_{i-1}^F відфільтрованого сигналу, $i = \overline{1, v}$, нумерація вхідних відліків поточної вибірки сигналу, v – максимальна кількість відліків, які накопичуються в оперативній пам'яті процесорного модуля ОС. В залежності від оперативно визначених опосередкованих оцінок вхідного співвідношення сигнал/шум в околиці СВ $\Delta X_{CBi}^N = |X_{CBi}^N - X_i|$ та в залежності від умов $\Delta X_{CBi}^N \leq \delta_d^N$ або $\Delta X_{CBi}^N > \delta_d^N$ формуються стислі масиви різницевих амплітудно-часових параметрів СВ-сигналів [1, 2, 4].

Після стиску сигналів (відеосигналів) з допустимими втратами інформації у вихідному масиві даних, як правило, наявні надлишкові дані. Подальший стиск даних без втрат в темпі їх введення, з обробкою та кодуванням коротких n -бітових послідовностей, $n = \overline{4, 8}$, з формуванням стислого і захищеного вихідного масиву даних реалізується з використанням словникового методу стиску [4, 19]. Аналіз безнадлишкових масивів даних [15], якими є криптостійкі масиви, показує, що в таких масивах відсутні повторення даних в різних комбінаціях, а кількість послідовностей для різних вели-

чин n є приблизно однаковою. Тому за наявності часу на кодування даних для ефективного стиску масивів з обсягом Q_{in} біт (сотні, тисячі біт і більше) розбиваємо весь масив на n -бітові послідовності, де $n \geq 4$, підраховуємо частоту наявності n -бітових послідовностей і присвоюємо менші коди тим послідовностям, які зустрічаються найчастіше [19]. Для підвищення захищеності даних після кожної процедури стиску даних доцільно реалізувати процедуру захисту даних з використанням одноразового блокноту [3, 15], а для підвищення завадостійкості даних використовується перемішування бітів та алгоритми оперативного завадостійкого кодування даних [1, 16].

Після стиску даних без втрат та їх захисту вихідні масиви є основою для формування *інформаційних кадрів* (ІК) пакетів даних. Для підвищення швидкості передачі інформації в радіомережах доцільно зменшувати тривалість передачі ІП при заданій кількості біт ІК (сотні-тисячі біт) [1, 2, 14]. Такий підхід дозволяє підвищити інформаційну ємність ІП, що в свою чергу підвищує ефективність передачі інформації в моніторингових мережах. Одним із способів підвищення ефективності передачі ІП засобами ОС є формування дворівневих інтервальних сигналів [2], включаючи шумоподібні [3, 11], які забезпечують компактне кодування n -бітових послідовностей ІП, $n \geq 2$, а також високошвидкісну та завадостійку передачу інформації в шумах радіоканалу. Як сигнальні ознаки інтервальних КСП ІП використовуються тривалості інтервалів одиничного або нульового рівнів, мінімальне значення яких відповідає величині T_b . Шляхом збільшення тривалості КСП на величину ΔT забезпечується можливість перетворення різних n -бітових послідовностей у відповідні КСП, де $\Delta T = k_s \cdot T_b$, $k_s < 1$ і залежить від точності вимірювання фронту наростання/спадання КСП та вибирається в залежності від рівня шумів в радіоканалі ($k_s = 0,125; 0,15; 0,2; 0,25$). Основою для зменшення надлишковості даних в процесі формування інтервальних КСП є зменшення кількості різновидів n -бітових послідовностей у вихідному масиві

даних, отриманого після стиску та завадостійкого кодування даних, а також така заміна n -бітових послідовностей на дворівневі інтервальні сигнали, при якій n -бітовим послідовностям, що найчастіше зустрічаються, присвоюються найменші інтервали. Оскільки після стиску даних без втрат та їх захисту у вихідному масиві даних можлива наявність всього спектра n -бітових послідовностей, то для зменшення їх різновидів та збільшення кількості n -бітових послідовностей з обмеженою величиною $m \leq m_d$ послідовних однотипних біт необхідно виконати операцію гаміювання вихідних бітів з відповідними бітами криптостійкої псевдовипадкової послідовності [15], де m_d – допустима кількість послідовних однотипних біт в n -бітових послідовностях. Для повної гарантії отримання вихідного потоку даних з $m \leq m_d$ після гаміювання даних у вихідному масиві необхідно здійснити пошук однотипних послідовностей бітів з $m \leq m_d$ і при виявленні таких послідовностей після m однотипних біт здійснюється вставка протилежного біту. Для зменшення кількості біт-вставок після комплексного захисту інформації і підрахунку частоти наявності n -бітових послідовностей доцільна заміна небажаних послідовностей, які частіше зустрічаються, на бажані, які рідше зустрічаються, з формуванням необхідної службової інформації.

Для підвищення ефективності компактного кодування даних ІП доцільно n -бітові двійкові коди перетворювати на k_l -інтервальні КСП [2], де індекс k визначає мінімальну кількість послідовних елементів (елементарних інтервалів) інтервального коду, а індекс l визначає загальну кількість інтервалів для кодування n -бітових послідовностей. Величина l впливає на складність побудови цифрового приймача інтервальних або інтервально-шумоподібних КСП, задаючи кількість каналів цифрової обробки та аналізу прийнятих КСП ІП. З метою зменшення кількості сигнальних ознак, необхідних для перекодування n -бітових послідовностей ІП-пакетів та реалізації спрощених приймачів КСП

ІІ, доцільно формувати вихідні потоки даних після стиску та захисту даних з $m_d \leq 2$, $m_d \leq 3$ [1, 2]. Для оцінки орієнтовних (гарантованих або мінімально очікуваних) значень коефіцієнта k_3 зменшення тривалості передачі ІІ-паketу після перекодування двійкових даних ІІ в інтервальні КСП на рис. 2,а і 2,б подано результати моделювання перетворення n -бітових послідовностей псевдохаотичних даних з $m_d \leq 2$ (рис. 2,а) і $m_d \leq 3$ (рис. 2,б) в інтервальні КСП, де на рис. 2,а крива *a* відповідає параметрам формування КСП $n=6$, $k=2$, $l=6$, крива *b* – $n=5$, $k=2$, $l=4$, крива *c* – $n=7$, $k=3$, $l=4$, крива *d* – $n=8$, $k=4$, $l=3$, крива *e* – $n=6$, $k=3$, $l=3$, на рис. 2,б крива *a* – $n=5$, $k=2$, $l=6$, крива *b* – $n=6$, $k=3$, $l=4$, крива *c* – $n=4$, $k=2$, $l=4$. Із всієї сукупності параметрів k і l при формуванні ІІ мінімальної тривалості [2] перевагу було віддано тим параметрам формування КСП, які забезпечують досягнення більших значень k_3 для різних величин ΔT . Визначені оптимальні параметри формування КСП ІІ мінімальної тривалості подано в таблиці. Аналіз залежностей (див. рис. 2) та даних таблиці показують, що для отримання максимальних значень $k_{3\max}$ доцільно формувати k_l -інтервальні КСП з $k=2, 3$. В результаті псевдохаотичної зміни параметрів стиску даних без втрат, захисту даних з використанням одноразового блокноту, перемішування та завадостійкого кодування даних, формування інтервальних КСП досягається надійний захист даних в радіоканалі. Ефективне формування, передавання та приймання шумоподібних КСП та СКП потребує застосування двох, трьох та більше каналних кореляційних приймачів СКП, побудова та функціонування яких є предметом окремих досліджень.

Оптимальні параметри формування КСП ІІ мінімальної тривалості

№	Параметри формування інтервальних КСП	$k_{3\min} = f(\Delta T)$
1	$n=6, m \leq 2, k=2, l=6$	2,11 ... 2,38
2	$n=5, m \leq 2, k=2, l=4$	1,89 ... 2,08
3	$n=7, m \leq 2, k=3, l=4$	1,88 ... 2,03
4	$n=5, m \leq 3, k=2, l=6$	1,76 ... 1,98
5	$n=8, m \leq 2, k=4, l=3$	1,69 ... 1,79
6	$n=6, m \leq 2, k=3, l=3$	1,68 ... 1,75
7	$n=6, m \leq 3, k=3, l=4$	1,6 ... 1,73
8	$n=4, m \leq 3, k=2, l=4$	1,59 ... 1,72

Висновки. Підвищення ефективності функціонування безпроводових моніторингових мереж досягається реалізацією на інформаційному рівні засобів ОС комплексу оптимізованих алгоритмів, пов'язаних з введенням моніторингової інформації в мережу, обробленням, кодуванням даних та передаванням пакетів інформації. Ефективність передачі пакетів досягається зменшенням інформаційних потоків в місцях встановлення ОС шляхом адаптації кодування вхідних даних в залежності від якості введення даних, формування пакетів, КСП яких вибираються в залежності від рівня шумів в радіоканалі. При цьому, завдяки оперативній реалізації в місцях введення вимірювальних сигналів та відеосигналів комплексу алгоритмів зменшення надлишковості та підвищення захищеності інформативних даних, що підлягають накопиченню і ретрансляції засобами ОС, збільшується інформаційна ємність ІІ, зменшується їх довжина або тривалість пере-

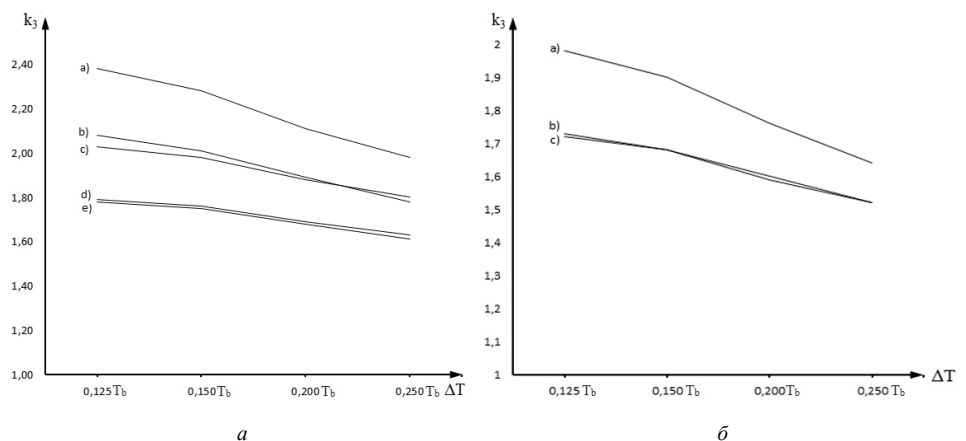


Рис. 2

дачі ІІ в порівнянні з передачею пакетів двійкових даних заданого обсягу, а також зменшується кількість пакетів, що підлягають передачі і ретрансляції по спільних каналах зв'язку. Зменшення надлишковості моніторингових даних засобами ОС СМ здійснюється послідовно, в три етапи, а саме в процесі реалізації оперативної фільтрації та стиску сигналів (відео-сигналів) з допустимими втратами інформації, в процесі стиску та захисту даних без втрат та в процесі формування завадостійких інтервальних КСП ІІ мінімальної тривалості. На основі результатів моделювання перетворення n -бітових послідовностей псевдохаотичних даних в інтервальні КСП запропоновані оптимальні параметри формування КСП ІІ мінімальної тривалості.

1. Шевчук Б.М. Системний підхід до вирішення проблем оптимізації обчислень засобами об'єктних систем сенсорних мереж // Інформ. технол. та комп. інж. – 2013. – № 1. – С. 88–95.
2. Шевчук Б.М. Оптимизированные по быстродействию и точности кодирования методы и алгоритмы повышения информационной эффективности функционирования абонентских систем беспроводных сетей // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – № 6. – С. 137–151.
3. Технологія багатофункціональної обробки і передачі інформації в моніторингових мережах / Б.М. Шевчук, В.К. Задирака, Л.О. Гнатів та ін. – К.: Наук. думка, 2010. – 370 с.
4. Шевчук Б.М., Задирака В.К., Фраер С.В. Алгоритмічні основи підвищення інформаційної ефективності передачі даних в сенсорних мережах // Комп. засоби, мережі та сист. – 2013. – № 12. – С. 140–149.
5. Задирака В.К., Шевчук Б.М. Математичне забезпечення комплексної обробки, кодування та передачі моніторингової інформації в комп'ютерних мережах зв'язку, мобільних роботів і рухомих систем // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та навчанні “ІНФОТЕХ– 2011”», Севастополь, 05–10 вер. 2011 р. – С. 16–17.
6. Шевчук Б.М. Эффективные методы и алгоритмы оперативного сжатия сигналов и изображений, ориентированные на построение объектных систем сенсорных сетей // Компьютерная математика. – 2012. – № 2. – С. 100–106.

7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
8. Теорія надійної та захищеної передачі даних в сенсорних і локально-регіональних сетях / Я.Н. Николайчук, Б.М. Шевчук, А.Р. Воронич та др. // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – № 2. – С. 161–174.
9. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: Наук. думка, 2008. – 328 с.
10. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко и др. – К.: Наук. думка, 2013. – 444 с.
11. Основи побудови перспективних безпроводових сенсорних мереж / М.Д. Герайчук, О.В. Івахів, М.І. Паламар та ін. – К.: ЕКМО, 2010. – 124 с.
12. Олейник В. Украинский модуль EMBees с функциями автоматического формирования ZigBee-сети // CHIP NEWS Украина. – 2009. – № 1. – С. 16–20.
13. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи. – М.: Эко-трендз, 2005. – 440 с.
14. Шевчук Б.М. Формування кодово-сигнальних послідовностей об'єктними системами безпроводових сенсорних мереж // Питання оптимізації обчислень (ПОО–XL): Пр. міжнар. наук. конф., присвяченої 90-річчю від дня народження академіка В.М. Глушкова, 30 вер. – 1 жов. 2013, Київ, 2013. – С. 277–278.
15. Zadiraka V., Shevchuk B., Gromaszek K. Methods and means of information computer networks security support / Computer Technologies for Information Security. – Lublin: Politechnika Lubelska, 2011. – P. 211–253.
16. Исследования методов помехоустойчивого кодирования информации для систем микроспутника / В.А. Буров, В.П. Зинченко, С.В. Зинченко и др. // Компьютерная математика. – 2009. – № 2. – С. 62–71.
17. Цепков Г.В. Корреляционно-спектральные преобразования сигналов в адаптивном секвентном базисе // Кибернетика и системный анализ. – 2000. – № 3. – С. 159–164.
18. Пономарева И.Д., Цепков Г.В. Сверхбыстрый спектральный анализ // Проблемы управления и информатики. – 1998. – № 1. – С. 107–114.
19. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.

Поступила 19.12.2014
Тел. для справок: +38 044 526-4569; 526-0288 (Київ)
E-mail: incors@ukr.net
© Б.М. Шевчук, В.К. Задирака, С.В. Фраер, 2015

Повышение эффективности передачи информации в мониторинговых сетях на основе оптимизации вычислений в процессе кодирования данных средствами объектных систем сенсорных сетей

Введение. Дистанционный мониторинг объектов различной природы, процессов, явлений и событий достигается путем оперативной реализации операций ввода, обработки, кодирования и передачи данных, подлежащих контролю в отдаленных местах отбора мониторинговой информации. *Объектами мониторинга* (ОМ) могут быть промышленные, сельскохозяйственные и коммунальные объекты, транспортные средства, объекты экологического мониторинга, биообъекты, операторы человеко-машинных систем, спортсмены, пациенты медицинских учреждений и др. Среди процессов и событий, подлежащих длительному мониторингу, следует выделить реализацию технических процессов в производстве, качество производства сложных технических объектов, охраняемый мониторинг стационарных и подвижных объектов, видеомониторинг объектов, мониторинг территорий с применением летательных аппаратов, контроль транспортных средств и др. Выполнение заданий дистанционного мониторинга объектов и процессов достигается путем установки в местах отбора данных, подлежащих контролю, *объектных систем* (ОС) беспроводных сетей [1–3], обеспечивающих передачу информативных данных на удаленную центральную станцию мониторинговой сети. При этом в местах образования информационных потоков, т.е. в местах установки ОС, важно реализовать комплекс алгоритмов обработки и кодирования мониторинговых данных [4–6] для реализации оперативной передачи достоверных и защищенных (крипто- и помехоустойчивых) данных по беспроводным каналам связи. Учитывая удаленность и подвижность ОМ, актуальна проблема реализации надежной и защищенной передачи пакетов мониторинговых данных от ОС *беспроводных сетей* (БС) к средствам ретрансляции (роутерам) *информационных пакетов* (ИП) на центральную станцию мониторинговой сети. Передаче и ретрансляции подлежат пакеты измерительных данных, мониторинговых сигналов, видеоданных, включительно фиксированные и подвижные изображения. На данном этапе развития БС для решения задач мониторинга объектов широкого распространения получили *беспроводные сенсорные сети* (БСС) [7–11], объектные процессорные средства которых характеризуются ограниченной вычислительной производительностью, низким потреблением мощности автономных источников питания, передачей измерительных величин и сигналов в режиме самоорганизации передачи пакетов данных между удаленными соседними абонентами сети. В то же время БСС характеризуются относительно невысокой скоростью передачи информации (250, 500 Кбит/с), а в режиме самоорганизации передачи пакетов между удаленными абонентами, из-за дополнительных процессов определения оптимальных

путей из имеющихся альтернативных направлений ретрансляции пакетов, скорость передачи пакетов информации уменьшается приблизительно на порядок [12]. При этом в местах формирования информационных потоков мониторинговой сети не осуществляется анализ входных данных на достоверность, что приводит к загрузке каналов связи недостоверными данными. Поэтому не решенными проблемами при построении эффективных и надежных беспроводных мониторинговых сетей остаются задачи ввода и передачи ОС БС достоверных измерительных данных, измерительных сигналов, видеоданных, реализация ограниченными вычислительными средствами ОС надежной и защищенной передачи пакетов информации в радиоканалах с шумами.

Цель статьи – разработка теоретических и алгоритмических основ реализации высокоскоростной, надежной и защищенной передачи пакетов разнородной мониторинговой информации (сигналов, видеоданных, массивов данных) в сенсорных и локально-региональных беспроводных сетях. Высокоскоростная передача информации достигается путем реализации процессорными модулями ОС оптимизированных по быстродействию и точности кодирования информативных отсчетов сигналов и видеосигналов, оперативного сжатия и криптоустойчивой защиты массивов данных, формирования *кодowo-сигнальных последовательностей* (КСП) пакетов информации, минимизированных по длительности. Надежная и защищенная передача пакетов достигается путем адаптации алгоритмов помехоустойчивого кодирования данных и формирования КСП-пакетов в зависимости от уровня помех в радиоканале, криптоустойчивого кодирования данных пакетов с применением асимметричной криптографии, когда каждый абонент сети владеет закрытым ключом, известным только ему.

Теоретические и алгоритмические основы повышения эффективности функционирования мониторинговых сетей

Основная проблема в реализации эффективного мониторинга удаленных объектов, процессов и событий состоит в организации оперативной доставки на центральную станцию мониторинговой сети (в центральный сервер) достоверных информативных данных, передаваемым по радиоканалам с шумами. При этом важно передавать массивы данных, сигналы, видеоданные, подлежащие оперативному анализу, от объектов и точек отбора информации к различным средствам ретрансляции (точек доступа) мониторинговых данных к вычислительным ресурсам компьютерных сетей. Необходимо также иметь возможность передачи данных, подлежащих контролю и анализу, по резервным радиоканалам и

альтернативным направлениям доставки мониторинговой информации в центральный сервер.

Современные технологии построения беспроводных сетей развиваются в направлении самоорганизации передачи пакетов информации между соседними абонентскими системами с децентрализованным управлением передачей данных [7, 10]. На рис. 1 приведены характерные структуры радиосетей, включая сеть *ad-hoc*, разветвленную и ячейковую сети. Каждая из этих сетей характеризуется преимуществами и недостатками [7, 9, 10, 12]. В основу функционирования приведенных сетей положена передача информационных пакетов (ИП) между соседними абонентами (А). Передача ИП на большие расстояния осуществляются в режиме ретрансляции пакетов от соседнего абонента к соседнему, а в разветвленных и ячейковых сетях передача информации реализуется с формированием альтернативных путей ретрансляции пакетов. Поскольку самоорганизация передачи ИП [12] приводит к существенному снижению скорости передачи информации с целью поддержки высокой скорости передачи предпочтение следует отдать разветвленной структуре сети с предварительно намеченными альтернативными путями ретрансляции пакетов.

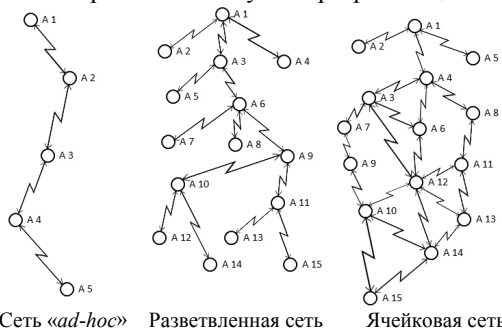


Рис. 1

Повышение эффективности функционирования беспроводных мониторинговых сетей без усложнения оборудования ОС БС, что служит основой их широкого применения, достигается реализацией на информационном уровне средств ОС комплекса оптимизированных алгоритмов, связанных с вводом (отбором) мониторинговой информации в сеть, обработкой, кодированием и передачей двоичных массивов данных в цепи *источник информации ↔ средства ввода информации ↔ ОС БС ↔ сеть передачи и ретрансляции данных ↔ центральная станция сети* (другие абоненты) [1–6]. Эффективность передачи пакетов достигается уменьшением информационных потоков в местах установки ОС путем адаптации кодирования входных данных в зависимости от качества их ввода (отсчеты чистых от шумов участков сигналов кодируются с повышенной частотой опроса и более точно (максимальным количеством бит АЦП), а отсчеты участков с шумами кодируются минимальной частотой опроса и минимальным количеством бит) [1, 4, 6], формирование пакетов, КСП которых выбираются в зависимости от уровня шумов в радиоканале

[1, 2]. При заданной величине рабочей полосы частот F максимальная канальная скорость передачи информации $R_{c\max} \leq 2F/k_s$, где $k_s > 1,4 \dots 1,8$ [7] – коэффициент, который учитывает качество возобновления фронтов цифровых (импульсных) сигналов. В результате реализации комплекса алгоритмов средствами ОС в процессе ввода, обработки и кодирования мониторинговых данных осуществляется адаптация алгоритмов в зависимости от уровня шумов во входных цепях средств ввода данных и уровня шумов в радиоканале. При заданной вероятности ошибочного приема кодовых последовательностей P_n текущая скорость передачи R_i – переменная и зависит от выбора ключевых параметров процессов ввода, кодирования и передачи данных, т.е.

$$R_i = f(F, P_n, K_c(\delta_d^N), (E_{is}/J_0)_n, L/B(\gamma_i)),$$

где $K_c(\delta_d^N)$ – коэффициент сжатия данных на информационном уровне средств ОС, который существенно зависит от допустимой величины уровня входных шумов δ_d^N в окрестности существенных отсчетов сигналов [1], $(E_{is}/J_0)_n$ – необходимое энергетическое соотношение сигнал/шум в канале связи, $E_{is} = S \cdot T_{is}$, S – мощность сигнала, T_{is} – длительность информационного сигнала (КСП), $J_0 = J/F$, J – средняя мощность суммарных помех в радиоканале ($(E_{is}/J_0)_n \approx (S/J) \cdot B$) [7], $B = F \cdot T_{is}$ – база канального сигнала (коэффициент расширения спектра сигнала), γ_i – текущее энергетическое соотношение $(E_{is}/J_0)_i$, $L \leq B/4$ [13] – количество ортогональных сигналов, которые асимметрично можно передавать в общем радиоканале с полосой F (величина L соответствует количеству независимых кодовых моноканалов в полосе частот F).

Таким образом, повышение эффективности функционирования беспроводных мониторинговых сетей достигается путем оперативной реализации в местах ввода измерительных сигналов и видеосигналов комплекса алгоритмов снижения избыточности и повышения защищенности информативных данных [4, 8], подлежащих накоплению средствами ОС БС, передачи и ретрансляции соседними ОС на центральный сервер мониторинговой сети. В результате минимизации информационных потоков каждой ОС увеличивается информационная емкость каждой ОС, уменьшается их длина или продолжительность передачи ИП в сравнении с передачей пакетов двоичных данных заданного объема, а также уменьшается количество пакетов, подлежащих передаче и ретрансляции по общим каналам связи. Повышение защищенности передачи ИП, криптостойкости и помехоустойчивости пакетов исключает доступ к первичным данным несанкционированных пользователей мониторинговой сети и минимизируют количество повторных передач ИП по радиоканалам с шумами.

Снижение избыточности мониторинговых данных средствами ОС БС осуществляется последовательно, в три этапа [1, 2, 4, 14]: в процессе реализации оперативной фильтрации и сжатия видеосигналов с допустимы-

ми потерями информации, в процессе сжатия и защиты данных без потерь и в процессе формирования помехоустойчивых интервальных КСП-пакетов информации минимальной продолжительности.

В процессе сжатия данных с допустимыми потерями, в зависимости от прикладных задач и условий ввода мониторинговых данных, осуществляется компактное кодирование информативных отсчетов огибающих сигналов и видеосигналов. Точность кодирования отсчетов и их достоверность существенно зависит от условий ввода данных, величины входного соотношения сигнал/шум на соответствующих участках сигналов, а также в зависимости от текущей информативности участков сигналов и кадров видеоданных [1, 4, 6]: на участках с шумами и неинформативных участках отсчеты сигналов кодируются с меньшей частотой опроса и меньшим количеством бит, а в процессе ввода видеоданных точному кодированию подлежат отсчеты ключевых кадров. С учетом ограниченной продуктивности процессорного модуля ОС и времени на кодирование данных целесообразно реализовать оперативный метод сжатия данных без потерь с одновременной защитой данных на уровне формирования без избыточных и криптоустойчивых (псевдохаотических) данных [1, 4, 15], при этом правила хаотизации данных постоянно меняются и известны только передатчику и приемнику пакетов. В результате несанкционированные пользователи мониторинговой сети лишаются доступа к первичным данным. Сжатые и криптоустойчивые данные подлежат помехоустойчивому кодированию [1, 16], после чего готовы к накоплению на электронных носителях или к передаче по каналам связи. В зависимости от уровня шумов в канале связи удаленные абоненты (передатчик и приемник ИП) в процессе установления связи согласовывают параметры формирования КСП-пакетов данных. С целью оптимизации процесса формирования компактных КСП ИП [1, 2, 14] в выходном потоке данных должны отсутствовать длительные последовательности однотипных битов. В результате реализации комплекса взаимодополняющих алгоритмов средствами информационного уровня ОС обеспечивается эффективная передача пакетов информации с учетом оптимизации величин $K_c(\delta_d^N) \rightarrow \max K_c$ и $B(\gamma_i) \rightarrow B_{\min}$, где $K_c = k_1, k_2, k_3$, k_1 – коэффициент сжатия данных с допустимыми потерями информации, который ограничивается особенностями прикладных исследований и задач, k_2 – коэффициент сжатия данных без потерь, k_3 – коэффициент сокращения длительности ИП в процессе формирования КСП-пакетов [1, 2], который соответствует дополнительному коэффициенту сжатия данных без потерь в процессе передачи ИП минимальной длительности.

В процессе оперативной обработки и кодирования видеосигналов на основе анализа знаков разностных значений ΔX_i^F и $\Delta(\Delta X_i^F)$ определяются амплитудно-временные параметры наиболее информативных отсчетов огибающих сигналов, включая экстремумы и точки

перегиба кривой [6, 17, 18], где $\Delta X_i^F = X_i^F - X_{i-1}^F$ – текущее приращение соседних отсчетов X_i^F и X_{i-1}^F отфильтрованного сигнала, $i = \overline{1, v}$ – нумерация входных отсчетов текущей выборки сигнала, v – максимальное количество отсчетов, накапливаемых в оперативной памяти процессорного модуля ОС. В зависимости от оперативно вычисленных косвенных оценок входного соотношения сигнал/шум в окрестности существенных отсчетов (СО) $\Delta X_{CBI}^N = |X_{CBI}^N - X_i^N|$ и в зависимости от условий $\Delta X_{CBI}^N \leq \delta_d^N$ или $\Delta X_{CBI}^N > \delta_d^N$, формируются сжатые массивы разностных амплитудно-временных параметров СО-сигналов [1, 2, 4].

После сжатия видеосигналов с допустимыми потерями информации в выходном массиве данных, как правило, имеются избыточные данные. Дальнейшее сжатие данных без потерь в темпе их ввода, с обработкой и кодированием коротких n -битовых последовательностей, $n = \overline{4, 8}$, с формированием сжатого и защищенного выходного массива данных реализуется с использованием словарного метода сжатия [4, 19]. Анализ без избыточных массивов данных [15], которыми есть криптостойкие массивы, показывает, что в таких массивах не наблюдается повторение данных в различных комбинациях, а количество последовательностей для различных n – приблизительно одинаково. Поэтому при наличии времени на кодирование данных для эффективного сжатия массивов с объемом Q_{in} бит (сотни, тысячи и более) разбиваем весь массив на n -битовые последовательности, где $n \geq 4$, подсчитывает частоту наличия n -битовых последовательностей и тем последовательностям, которые наиболее часто встречаются, присваиваем меньшие коды [19]. Для повышения защищенности данных после каждой процедуры сжатия данных целесообразно реализовать процедуру защиты данных с применением одноуровневого блокнота [3, 15], а для повышения помехоустойчивости данных применяется перемешивание битов и алгоритмов оперативного помехоустойчивого кодирования данных [1, 16].

После сжатия данных без потерь и их защиты выходные массивы становятся основой для формирования *информационных кадров* (ИК) пакетов данных. Для повышения скорости передачи информации в радиосетях целесообразно сокращать длительность передачи ИП при заданном количестве бит ИК (сотни–тысячи бит) [1, 2, 14]. Такой подход позволяет повысить информационную емкость ИП, что в свою очередь повышает эффективность передачи информации в мониторинговых сетях. Один из способов повышения эффективности передачи ИП средствами ОС – формирование двухуровневых сигналов [2], включая шумоподобные [3, 11], обеспечивающие компактное кодирование n -битовых последовательностей ИП, где $n \geq 2$, а также высокоскоростную и помехоустойчивую передачу информации

в шумах радиоканала. В качестве сигнальных признаков интервальных КСП ИП используются длительности интервалов одиночного или нулевого уровней, минимальное значение которых соответствует величине T_b . Путем увеличения длительности КСП на величину ΔT обеспечивается возможность преобразования различных n -битовых последовательностей в соответствующие КСП, где $\Delta T = k_s \cdot T_b$, $k_s < 1$ и зависит от точности измерения фронта нарастания/убывания КСП, а также выбирается в зависимости от уровня шумов в радиоканале ($k_s = 0,125; 0,15; 0,2; 0,25$). Основой для снижения избыточности данных в процессе формирования интервальных КСП служит уменьшение количества разновидностей n -битовых последовательностей в выходном массиве данных, полученном после их сжатия без потерь и помехоустойчивого кодирования, а также такая замена n -битовых последовательностей на двухуровневые интервальные сигналы, при которой n -битовым последовательностям, которые наиболее часто встречаются, присваиваются наименьшие интервалы. Поскольку после сжатия и защиты данных в выходном массиве возможно наличие всего спектра n -битовых последовательностей, то для сокращения их разновидностей и увеличения количества n -битовых последовательностей с ограниченной величиной $m \leq m_d$ последовательных однотипных бит, необходимо выполнить операцию гаммирования выходных битов с соответствующими битами криптостойкой псевдослучайной последовательности [15], где m_d – допустимое количество последовательных бит в n -битовых последовательностях. Для полной гарантии получения выходного потока данных с $m \leq m_d$ после гаммирования данных в выходном массиве необходимо осуществить поиск однотипных последовательностей битов с $m \leq m_d$ и при выявлении таковых после m однотипных бит осуществляется вставка противоположного бита. Для уменьшения количества битвставок после комплексной защиты информации и подсчета частоты наличия n -битовых последовательностей целесообразна замена нежелательных последовательностей, которые чаще встречаются, на желательные, которые менее часто встречаются, с формированием необходимой служебной информации.

Для повышения эффективности компактного кодирования данных ИП целесообразно n -битовые двоичные коды преобразовать в k_l -интервальные КСП [2], где индекс k определяет минимальное количество последовательных элементов (элементарных интервалов) интервального кода, а индекс l определяет общее количество интервалов для кодирования n -битовых последова-

тельств. Величина l влияет на сложность построения цифрового приемника интервальных или интервально-шумоподобных КСП, задавая количество каналов цифровой обработки и анализа принятых СКП ИП. С целью уменьшения количества сигнальных признаков, необходимых для перекодирования n -битовых последовательностей ИП и реализации упрощенных КСП ИП, целесообразно формировать выходные потоки данных после их сжатия и защиты с $m_d \leq 2$, $m_d \leq 3$ [1, 2]. Для оценки ориентировочных (гарантированных или минимально ожидаемых) значений коэффициента k_3 уменьшения длительности ИП-пакета после перекодирования двоичных данных ИП в интервальные КСП на рис. 2 приведены результаты моделирования преобразования n -битовых последовательностей псевдохаотических данных с $m_d \leq 2$ (рис. 2,а) и $m_d \leq 3$ (рис. 2,б) в интервальные КСП, где на рис. 2,а кривая *a* соответствует параметрам формирования КСП $n = 6, k = 2, l = 6$, кривая *b* – $n = 5, k = 2, l = 4$, кривая *c* – $n = 7, k = 3, l = 4$, кривая *d* – $n = 8, k = 4, l = 3$, кривая *e* – $n = 6, k = 3, l = 3$, на рис. 2,б кривая *a* – $n = 5, k = 2, l = 6$, кривая *b* – $n = 6, k = 3, l = 4$, кривая *c* – $n = 4, k = 2, l = 4$. Из всей совокупности параметров k и l при формировании ИП минимальной длительности [2] предпочтение было отдано параметрам формирования КСП, обеспечивающим достижение больших значений k_3 для различных величин ΔT . Полученные оптимальные параметры формирования КСП ИП минимальной длительности приведены в таблице. Анализ зависимостей, приведенных на рис. 2 и данные таблицы показывают, что для получения максимальных значений k_{3max} целесообразно формировать k_l -интервальные КСП с $k = 2, 3$. В результате псевдохаотической смены параметров сжатия данных без потерь, защиты данных с применением одноразового блокнота, перемешивания данных и помехоустойчивого кодирования данных, формирования интервальных КСП достигается надежная защита данных в радиоканале. Эффективное формирование, передача и прием шумоподобных КСП и СКП нуждается в применении двух-,

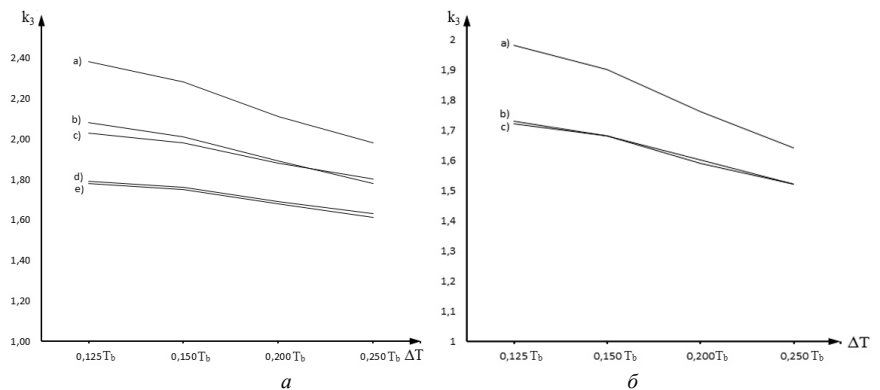


Рис. 2

трех- и более канальных корреляционных приемников СКП, построение и функционирование которых есть предметом отдельных исследований.

Оптимальные параметры формирования КСП ИП минимальной длительности

№	Параметры формирования интервальных КСП	$k_{3\min} = f(\Delta T)$
1	$n = 6, m \leq 2, k = 2, l = 6$	2,11 2,38
2	$n = 5, m \leq 2, k = 2, l = 4$	1,89 2,08
3	$n = 7, m \leq 2, k = 3, l = 4$	1,88 2,03
4	$n = 5, m \leq 3, k = 2, l = 6$	1,76 1,98
5	$n = 8, m \leq 2, k = 4, l = 3$	1,69 1,79
6	$n = 6, m \leq 2, k = 3, l = 3$	1,68 1,75
7	$n = 6, m \leq 3, k = 3, l = 4$	1,6 1,73
8	$n = 4, m \leq 3, k = 2, l = 4$	1,59 1,72

Заключение. Повышение эффективности функционирования беспроводных мониторинговых сетей достигается реализацией на информационном уровне средств ОС-комплекса оптимизированных алгоритмов, связанных с вводом мониторинговой информации в сеть, обработкой, кодированием данных и передачей пакетов информации. Эффективность передачи пакетов достигается сокращением информационных потоков в местах установки ОС путем адаптации кодирования входных

данных в зависимости от качества ввода данных, формирование пакетов, КСП которых выбираются в зависимости от уровня шумов в радиоканале. При этом вследствие оперативной реализации в местах ввода измерительных сигналов и видеоданных комплекса алгоритмов уменьшения избыточности и повышения защищенности информативных данных, подлежащих накоплению и ретрансляции средствами ОС, увеличивается информационная емкость ИП, уменьшается их длина, или продолжительность передачи ИП в сравнении с передачей пакетов двоичных данных заданного объема, а также уменьшается количество пакетов, подлежащих передаче и ретрансляции по общим каналам связи. Снижение избыточности мониторинговых данных средствами ОС БС осуществляется последовательно, в три этапа, а именно в процессе реализации оперативной фильтрации и сжатия видеосигналов с допустимыми потерями информации, в процессе сжатия и защиты данных без потерь и в процессе формирования помехоустойчивых интервальных КСП ИП минимальной длительности. На основе результатов моделирования преобразования n -битовых последовательностей псевдохаотических данных в интервальные КСП предложены оптимальные параметры формирования КСП ИП минимальной длительности.

Внимание!

Требования к оформлению статей размещены на сайте журнала: <http://usim.irtc.org.ua>

Для соответствия журнала современным научно-метрическим базам, авторы должны подать на английском языке:

- расширенную аннотацию на 1–1,5 с. с выделением рубрик: *Introduction, Purpose, Methods, Results, Conclusion*);
- фамилию и инициалы автора,
- название статьи;
- ключевые слова (*Keywords*);
- место работы, должность и адрес;
- ученая степень, звание;
- пристатейный список литературы на латинице (для русскоязычных ссылок – транслитерация Ф.И.О. авторов и названия журнала, название статьи – перевод на англ.).