

Адаптивне кодування даних, формування та передавання заводських пакетів інформації в мережах промислового моніторингу

Предложена информационная технология повышения эффективности функционирования беспроводных сетей промышленного применения на основе общего применения адаптивных алгоритмов компактного кодирования мониторинговых сигналов и формирования помехоустойчивых кодово-сигнальных последовательностей пакетов информации, передаваемых в радиоканалах с шумами.

Запропоновано інформаційну технологію підвищення ефективності функціонування бездротових моніторингових мереж промислового призначення на основі спільного використання адаптивних алгоритмів компактного кодування моніторингових сигналів та формування заводських кодово-сигнальних послідовностей пакетів інформації, які передаються в радіоканалах з шумами.

Вступ. Сучасне виробництво характеризується максимальним використанням автоматизованих ліній і технічних роботів для виключення людської праці, як найбільш ненадійного елемента в забезпеченні високої якості виробництва. Поряд з тим вплив людського фактора на якість виробництва проявляється через управління операторами автоматизованими комплексами і системами. При цьому на різних етапах та рівнях виробництва використовується фізична та розумова праця великої кількості людей, що потребує багаторівневої організації контролю якості виробництва. Слід зазначити, що на нижчих рівнях промислового та сільськогосподарського виробництва здійснюється опрацювання матеріалів, енергії, інформації. На більш високих рівнях виробництва необхідне отримання та опрацювання вірогідної інформації про комплектуючі і матеріали постачальників, виконання технологічних процесів виробництва, випробування роботи вузлів і систем складних технічних об'єктів. Тому суттєвим завданням забезпечення високої якості виробництва є збір вірогідних даних на всіх етапах життєвого циклу технічного об'єкта, оперативна доставка моніторингових даних у віддалений сервер підприємства. Відповідно кожна деталь, вузол та система технічного об'єкта супроводжується технологічною інформацією, яка

підтверджує високу якість виготовлення складових об'єкта.

Важлива роль в організації контролю якості виробництва належить мережевим засобам збору, обробки, кодування та передачі первинних сигналів, які підлягають контролю і експрес-аналізу на ранніх етапах виробництва складних технічних об'єктів та на етапі випробування функціонування їх окремих вузлів та підсистем. Оскільки на виробництві об'єкти моніторингу часто є віддаленими та розподіленими на великій території, часто змінюють своє місцезнаходження в межах території підприємства, то для збору, обробки і передачі даних моніторингу доцільно використовувати абонентські системи (АС) бездротових мереж [1–6]. Дані АС встановлюються в місцях відбору моніторингової інформації та передачі команд управління для формування сигналів на виконавчі механізми технологічного обладнання.

Постановка задачі

Враховуючи наявність промислових заводів, актуальним завданням у вирішенні проблем оперативної доставки достовірної моніторингової інформації у віддалений сервер підприємства є реалізація комплексу алгоритмів компактного та заводського кодування даних промислового моніторингу безпосередньо в міс-

цях виникнення інформаційних потоків, тобто на робочих місцях виробничих цехів та на випробувальних ділянках. Тому важливо у місцях введення моніторингової інформації засобами об'єктних систем (АС, які встановлюються в місцях відбору інформації) бездротових мереж (БМ) реалізувати введення та кодування достовірних та інформативних даних, які направляються в канали зв'язку багаторівневих мереж промислового моніторингу. Враховуючи низьку продуктивність процесорів об'єктних систем (ОС) бездротових мереж, які тривалий час мають працювати в режимі автономного живлення, невирішеними завданнями в побудові промислових моніторингових мереж є відбір, кодування і передача достовірних та захищених моніторингових даних безпосередньо в місцях зародження інформаційних потоків комп'ютерних БМ. Ці завдання вирішуються на основі реалізації процесорами ОС ефективних за швидкістю і точністю кодування даних моніторингу.

Метою статті є розробка теоретичних та алгоритмічних основ реалізації ефективного кодування відліків сигналів, що підлягають тривалому моніторингу засобами АС БМ з обмеженою продуктивністю процесора АС, а також формування інформативних (з підвищеною інформаційною ємністю) та мінімальних за тривалістю завадостійких пакетів інформації кожною АС (ОС) бездротової мережі. При цьому ефективність кодування даних промислового моніторингу досягається шляхом мінімізації обчислювальних операцій в процесі фільтрації і стиску достовірних відліків моніторингових сигналів, стиску та захисту потоків даних, що підлягають накопиченню або передачі в пакетному режимі по каналах зв'язку моніторингових мереж.

Реалізація ефективного кодування даних та передавання моніторингових даних об'єктними системами бездротових комп'ютерних мереж

Пакетна передача великих масивів інформації передбачає послідовну передачу зі зворотним зв'язком (з підтвердженням успішної передачі) коротких підмасивів даних (інформа-

ційних кадрів пакетів), на які розбивається первинний масив з додатковою службовою інформацією. За наявності чистого від шумів каналу зв'язку об'єм даних пакету або його довжина вибирається максимальною, як правило, одиниці кілобіт, а за наявності шумів довжина пакетів відповідно зменшується. Максимальна канална швидкість передачі інформації $v_{c \max}$ визначається мінімальною тривалістю кодових сигналних послідовностей (КСП) інформаційних пакетів (ІП). У випадку передачі двійкових даних з тривалістю бітових послідовностей T_b і періодом повторення протилежних послідовностей $t_p = 2T_b = 1/F$, тобто коли здійснюється передача найбільш високочастотних послідовностей ... 010101 ... або ... 101010 ..., максимальна швидкість передачі інформації визначається виразом

$$v_{c \max} = 1/T_b = 2F \text{ біт/с,}$$

де F – величина робочої смуги частот у герцах.

Для якісного відновлення двійкового символу необхідно збільшувати ширину смуги F з урахуванням заданої якості відновлення крутизни фронтів імпульсних сигналів [1]. Тому за заданої (обмеженої) смуги частот $F = 1/2T_b$ швидкість передачі інформації R_{\max} зменшується на величину $k_s \geq 1.4$ [1], тобто $R_{\max} = v_{c \max} = 2F/k_s = 1/k_s \cdot T_b$, де $k_s = (F + F_0)/F_0$ – коефіцієнт, що враховує якість відновлення фронтів цифрових сигналів, F_0 – надлишкова смуга частот (частина смуги F), яка визначає якість відновлення фронтів дворівневих сигналів. Оскільки передача цифрових сигналів в каналах з шумами призводить до значних спотворень обвідної дворівневих сигналів (в каналі зв'язку цифрові сигнали є аналоговими, на які хаотично накладаються шумові складові), то для підвищення завадостійкості передачі інформації необхідно збільшувати базу B корисного сигналу, де $B = T_b \cdot F$ [7]. За обмеженої смуги частот F це призводить до збільшення тривалості T_b . Для ефективної передачі двійкових даних в шумах радіоканалу замість n -бітової послідовності, $n \geq 1$, в канал зв'язку

передається псевдовипадкова (шумоподібна) послідовність дворівневих сигналів [1, 8], кількість двійкових елементів яких є B і може змінюватись в залежності від опосередковано визначеного рівня шумів в точці прийому інформації [7]. З урахуванням попереднього стиску моніторингових даних з допустимими втратами інформації, стиску даних без втрат та формування компактних КСП ІІ максимальна інформаційна швидкість передачі інформації $R_{i\max}$ визначається виразом

$$R_{i\max} = \frac{K_c(\delta_d^N) \cdot L}{k_s \cdot T_b \cdot B(\gamma_j)},$$

де $K_c(\delta_d^N)$ – сумарний коефіцієнт стиску даних на інформаційному рівні засобів ОС моніторингових мереж, який залежить від допустимої величини рівня вхідних шумів δ_d^N в околиці суттєвих відліків сигналів, $L \leq B/4$ – кількість ортогональних шумоподібних сигналів (ШПС), які можна асиметрично передавати в робочій смузі частот F радіоканалу, $B(\gamma_j)$ – база каналного сигналу, яка відповідає коефіцієнту розширення спектра корисного сигналу і яка суттєво залежить від оцінки поточного енергетичного співвідношення γ_j в радіоканалі, j – величина часового відліку оцінки енергетичного співвідношення.

Отже, ефективна та захищена передача даних у моніторингових мережах ґрунтується на реалізації засобами ОС БМ адаптивного кодування вхідних даних зі змінним коефіцієнтом стиску даних у великих межах (десятки–сотні одиниць) та формування захищених КСП-пакетів інформації з базою каналних сигналів, яка вибирається у великих межах $B(\gamma_j) = \overline{B_{\min}, B_{\max}}$ в залежності від рівня шумів в радіоканалі, де $B_{\min} = 1$, $B_{\max} = T_{b\min} \cdot N_B \cdot F$, $N_B > 10$ – кількість двійкових елементів шумоподібного сигналу (ШПС). Оскільки в радіомережах з ШПС максимальна швидкість передачі інформації $R_{i\max}$ зменшується в B разів, то реалізація високошвидкісної передачі шумоподібних ІІ (ІІ-ШПС) досягається шляхом оперативного визначення мінімально необхідної поточної

бази $B_{i\min}$ КСП ІІ-ШПС. В найпростішому випадку $B_{i\min}$ визначається в процесі встановлення зв'язку між парами активних абонентів [7], які отримали доступ до радіоканалу. Аналіз процесів формування компактних КСП ІІ [9, 10] свідчить, що підвищення ефективності передачі інформації за обмеженої робочої смуги частот F досягається шляхом перетворення n -бітових послідовностей ІІ, $n \geq 2$, в k_l -інтервальний код, де індекс k визначає мінімальну кількість інтервалів КСП ІІ, а індекс l – загальну кількість інтервалів кодових послідовностей ІІ в діапазоні від $T_{\min} = T_b$ до $T_b + (l-1)\Delta T$, де $\Delta T = k_s \cdot T_b$, $k_s < 1$ і вибирається залежно від визначеного рівня шумів в радіоканалі. Шляхом псевдохаотичного вибору параметрів $n = 4, 5, 6, 7$, $k = 2, 3$, $l = 4, 6$ в процесі формування інтервальних КСП реалізується криптостійка передача ІІ, при цьому швидкість передачі інформації збільшується в два рази і більше [11].

Передача і прийом шумоподібних ІІ потребує застосування ускладнених цифрових приймачів (кореляційних обчислювачів) ШПС, які на поточному інтервалі тривалості елементу ШПС, в найпростішому випадку [4], обчислюють взаємодульну функцію між очікуваним (опорним) ШПС і вхідним сигналом згідно виразу $G(j) = \sum_{i=1}^B |S_i - X_{i+j}|$, де $G(j)$ – відліки модульної функції ШПС при j -му зсуві відліків прийнятого сигналу X_i , $j = 0, 1, 2, \dots, \dots, B, \dots, 2B, \dots$ – величина часового зсуву, S_i – i -й елемент опорного ШПС. У випадку використання l шумоподібних КСП цифровий приймач ШПС складається із l незалежних обчислювачів заданої кореляційної функції відповідних ШПС, які використовуються для підвищення захищеності (завадостійкості, криптостійкості, прихованості) передачі інформації в радіоканалі з шумами. Вихідні дані кореляційних приймачів підлягають аналізу для прийняття рішення про прийом відповідної КСП. Не виключена ситуація, коли через потужні

завади на поточному інтервалі прийому та аналізу даних неможливо прийняти достовірне рішення про прийом однієї із l КСП. Відновлення втраченої інформації досягається внаслідок реалізації комплексу алгоритмів завадостійкого кодування даних та їх перемішування [1, 12] в процесі формування КСП ІІ.

При використанні одного кореляційного обчислювача приймача ІІ-ШПС на інтервалі тривалості елементу ШПС $\tau \geq T_{bmin}$ здійснюється одне і більше опитувань вихідного сигналу демодулятора абонентського радіоприймача [4] та обчислення кореляційної функції ШПС. Для успішного прийому ІІ-ШПС необхідне виявлення характерного початку ІІ з подальшою синхронізацією інтервалів опитувань вхідного сигналу та моментів прийняття рішення про прийом відповідної бітової послідовності ІІ. Слід зазначити, що момент прийняття рішення на часовому інтервалі може бути відомий тільки парі абонентів – відправнику та приймачу ІІ-ШПС, а в залежності від рівня кореляційної функції відносно опорного сигналу в цей момент формується повідомлення про прийом одиничного рівня (сигнал a), нульового рівня (сигнал \bar{a}) або невідомого рівня (прийом «зашумленого сигналу») [4]. У випадку застосування двох кореляційних обчислювачів приймача ІІ-ШПС забезпечуються умови достовірного розпізнавання чотирьох сигналів (a, \bar{a}, b, \bar{b}) , що є основою для передачі одним шумоподібним сигналом двох бітових послідовностей. Для досягнення максимальної швидкості передачі даних двома ШПС одночасно передаються дві двохбітові послідовності, при цьому значно слабшає завадостійкість передачі інформації. Подальше збільшення швидкості передачі інформації досягається перетворенням n -бітових послідовностей, $n=5,6$, в k_l -інтервальний шумоподібний код, де $k=2$, $l=3, 4$, тобто відповідні n -бітові послідовності передаються двома послідовними ШПС, тривалістю кожного $T_{ШПС} \geq N_B \cdot \tau$, де N_B – кількість елементів ШПС. При $n=5$ і використанні трьох кореляційних обчислювачів ($l=3$) швидкість передачі інформації ІІ-ШПС збіль-

шується в 2,5 рази, а при $n=6$ і використанні чотирьох кореляційних обчислювачів ($l=4$) швидкість передачі інформації ІІ-ШПС збільшується в три рази. Для перекодування n -бітових послідовностей в k_l -інтервальний шумоподібний код використовуються таблиці, узгоджені з абонентськими закритими ключами, в яких заданим двійковим кодам відповідають комбінації двох ШПС, вибрані з наступних сигналів (типів ШПС): $aa, a\bar{a}, \bar{a}a, \bar{a}\bar{a}, ab, ba, \dots, ac, ca, \dots, ad, da, \dots, dd, d\bar{d}, \bar{d}d, \bar{d}\bar{d}$. Для зменшення кількості мінімально необхідних комбінацій сигналів в стислому та захищеному масиві n -бітових послідовностей доцільно забезпечити $m \leq m_{max}$, де $m_{max} = 3, 4, 5$ – максимальна кількість сусідніх однотипних бітових даних. Оперативна реалізація цієї вимоги досягається завдяки гаміюванню стислих даних з криптостійкими послідовностями з $m \leq m_{max}$, а на кінцевому етапі перетворення масивів даних здійснюється біт-вставка [10]. Шляхом псевдохаотичного вибору параметрів n, k, l і B_i реалізується криптостійка передача ІІ на каналному рівні. Отже, для реалізації високошвидкісної та адаптивної передачі інформації в радіоканалах з шумами необхідне використання приймачів ІІ (ІІ-ШПС) з багатоканальними аналізаторами прийнятих сигнально-кодових послідовностей ІІ та відповідної кількості кореляційних обчислювачів ШПС, що використовуються для передачі інформації в шумах робочої смуги частот.

Пакетна передача інформації між віддаленими абонентами радіомережі передбачає успішну реалізацію доступу до спільного ресурсу мережі – радіоканалу, передачі активним абонентом одного або більше ІІ та отримання зворотного пакету-квитанції (ПК) від абонента-адресата. На практиці передача ІІ між абонентами радіомережі здійснюється в режимах централізованого управління передачею даних (або навпаки), на основі множинного доступу абонентів (об'єктних систем) до радіоканалу. В режимі централізованої передачі інформації центральна станція (ЦС) радіомережі (комірки, кластера) в широкомовному режимі передає

керуючий пакет, в якому повідомляє про адресу активного абонента та параметри формування КСП ІІ. Відповідний абонент, отримавши керуючий пакет, передає ІІ з попередньо узгодженою базою каналного сигналу. Доцільність використання режиму централізованої передачі інформації виникає у випадку активізації значної кількості ОС радіомережі (більше 60–70 відсотків від загальної кількості абонентів) і для уникнення конфліктів при передачі ІІ ЦС здійснює першочергове опитування найбільш пріоритетних ОС. Використання децентралізованої передачі інформації найбільш ефективно за обмеженої активності більшої частини ОС. В цьому режимі ЦС може виконувати роль синхронізатора множинного доступу активних абонентів до спільного радіоканалу, тобто коли абоненти в децентралізованому режимі послідовно, один за одним, з мінімальними інтервалами доступу до радіоканалу передають сформовані ІІ. В керуючих пакетах ЦС задає базу ІІ та інші параметри формування і передачі пакетів. Виходячи з потреб забезпечення мінімальних часових витрат на передачу інформації від багатьох ОС для визначення моменту пуску процедури доступу до радіоканалу абонентам радіомережі доцільно визначати моменти завершення керуючих пакетів або ПК. Тому в режимі множинного доступу до спільних ресурсів мережі абоненти прослуховують радіоканал і у випадку його зайнятості відкладають спробу передачі ІІ на випадковий інтервал часу. У разі виявлення вільного радіоканалу активні абоненти реалізують процедуру множинного доступу до радіоканалу [3, 4] з виявленням єдиного абонента, який в подальшому здійснюватиме безконфліктну передачу ІІ. Для мінімізації конфліктів більш пріоритетні абоненти швидше за інших реалізують процедуру доступу і серед них визначається найактивніший абонент. За наявності значних шумів в радіоканалі для узгодження поточної величини бази ІІ $B_{\min} \leq B_i \leq B_{\max}$ абонент–передавач ІІ в першому пакеті, з допомогою якого здійснюється встановлення зв'язку, передає КСП з різними базами B_i в попередньо заданому діапазоні $B_i = \overline{B_{\min}, B_{\max}}$. Після

прийому першого пакета і аналізу вихідних сигналів кореляційних приймачів [4, 7] абонент–приймач ІІ оперативно визначає якість радіоканалу в точці прийому ІІ і пакетом–квитанцією абонент–приймач повідомляє абонента–передавача про необхідну величину B_i . В подальшому при формуванні, передачі і прийому пакетів абоненти вибирають B_i (кількість елементів ШПС N_B), яка є мінімально необхідною для надійної і захищеної передачі інформації в шумах радіоканалу. При цьому від пакета до пакета величина бази B_i може змінюватись залежно від поточного рівня шумів в радіоканалі. З метою криптистійкої передачі інформації на каналному рівні поточну базу ШПС можна також змінювати для кожної КСП-пакета. У випадку спотворення шумами відповідних сигнально-кодівих послідовностей ІІ внаслідок деперемішування правильно прийнятих бітових послідовностей та відновлення інформації на основі завадостійкого кодування даних з відомими взаємозв'язками сусідніх бітових послідовностей інформаційних кадрів пакетів [12], досягається відновлення даних, вражених каналними завадами. Зазначимо, що в результаті перемішування даних різних КСП сусідньої групи пакетів, деперемішування прийнятої інформації та відновлення вражених шумами даних, забезпечується відновлення інформації втрачених пакетів. У випадку неможливості відновлення даних, спотворених каналними шумами (ця ситуація проявляється за відсутності відповідного ПК), здійснюється повторна процедура встановлення зв'язку та передача ІІ з уточненою базою ШПС.

Основою інформаційних кадрів ІІ є компактні дані вибірок моніторингових сигналів. Підвищення точності та швидкодії компактного кодування відліків сигналу з допустимими втратами інформації досягається шляхом максимально допустимого прорідження відліків вхідної вибірки даних, адаптивного вибору вікна усереднення l_u в процесі фільтрації сигналу, де $l_u = f(\Delta X_{CB}^F)$ ΔX_{CB}^F -приріст відфільтрованого сигналу між сусідніми суттєвими відліками (СВ), та шляхом реалізації адаптив-

ної медіанної фільтрації і вибору оптимального (максимально допустимого) інтервалу опитування (відбору) відліків сигналу на чистих та зашумлених ділянках, враховуючи, що частота дискретизації сигналу вибирається надлишковою, тобто $f_d = k \cdot f_{\max}$, де $k = \varphi(q_{\max}) \geq 8-10$, q_{\max} – максимальна кількість біт для кодування відліків сигналу, f_{\max} – максимальна частота спектра сигналу. З метою прискорення і оптимізації (мінімізації обчислювальних операцій) обробки та кодування даних інтервал відбору надлишкових відліків поточної вибірки сигналу t_v визначається адаптивно з урахуванням залежності: $t_v = f(\Delta X_{CB_i}^N, \{\Delta X_{CB_j}^F\})$, де $\{\Delta X_{CB_j}^F\} = \Delta X_{CB}^F / d_j$ – нормована крутизна сигналу між поточними сусідніми СВ, $\Delta X_{CB_j}^F = X_{CB_j}^F - X_{CB_{j-1}}^F$, $d_j = 1, \dots, r$ – кількість відліків дискретизації сигналу між CB_{j-1} і CB_j , r – максимальна кількість відліків між сусідніми СВ.

Оскільки обробка та кодування вхідних сигналів здійснюється обмеженими за довжиною (обсягу вхідних даних) вибірок сигналів, то на інтервалі поточної вибірки визначаються та запам'ятовуються коди виду ділянки (чиста/зашумлена), кількість СВ на ділянці, кількість біт зі знаком для кодування різницевого амплітудних значень між сусідніми СВ ділянки, кількість проміжних несуттєвих відліків між сусідніми СВ ділянки. На основі отриманих даних визначаються скорочені коди максимальної кількості біт для кодування різницевого амплітудних значень між сусідніми СВ ділянки та кількості проміжних НВ між сусідніми СВ. В результаті після визначення параметрів СВ поточної вибірки даних, попередньо визначається та оптимально кодується службова інформація параметрів адаптації $\{CI_{ПА}\}$ поточної ділянки відповідної вибірки сигналу, включаючи вид кодування ділянки (ВК), N –бітовий код кількості СВ на ділянці $\{N_{CB}\}$, m – бітовий код зі знаком кількості n біт для кодування різницевого амплітудних значень сусідніх СВ, b –бітовий код кількості l_b біт для кодування різниці між номерами сусідніх СВ, що відповідає коду кількості проміжних НВ між сусідніми СВ. Для просто-

ти кодування службова інформація параметрів адаптації $\{CI_{ПА}\}$ може бути задана попередньо для всієї вибірки сигналу з урахуванням максимальних значень відповідних кодів. Значною перевагою алгоритму компактного кодування відліків сигналу, оптимізованого за швидкістю і точністю кодування, є той факт, що після реалізації оперативної адаптивної фільтрації відліків сигналу та визначення амплітудно-часових параметрів СВ, отримуємо параметри СВ на ділянках сигналу з шумами. Параметри СВ, які належать до чистих ділянок, підлягають подальшому уточненню. Для економії часу роботи центрального процесора ОС в процесі фільтрації та первинного визначення параметрів СВ доцільно відбирати відліки сигналу з оперативного пристрою пам'яті ОС з максимально допустимим прорідженням відліків вхідного сигналу. Кодування СВ на чистих і зашумлених ділянках сигналу здійснюється з використанням загальної службової інформації, службової інформації (визначених параметрів адаптації) поточних вибірок сигналу, різницевого кодів амплітудних і часових значень СВ вибірок сигналу, коли перший відлік поточної вибірки сигналу кодується повнорозрядним кодом. У найпростішому випадку службова інформація (загальна та поточних вибірок) може бути зведена до мінімуму, в якій задаються величини: f_d , ΔX_i^N , Q_{\max} , максимальна кількість біт, необхідних для кодування різницевого кодів амплітудних значень СВ, максимальна кількість біт, необхідних для кодування кількості НВ між сусідніми СВ, тобто різниць часових значень сусідніх СВ, спосіб кодування компактних даних СВ і НВ. Загальна службова інформація $\{CI_3\}$ складається з таких кодів: t –бітового коду реального часу; c –бітового коду номера поточної вибірки даних; f –бітового коду для кодування максимальної частоти дискретизації сигналу; q –бітового коду для кодування максимальної кількості біт повнорозрядних СВ; k –бітового коду кількості r біт для кодування інформації про вибраний вид компактного кодування даних.

Отже, в оперативних алгоритмах з різнице-вим компактним кодуванням СВ стиск сигналів забезпечується в результаті пошуку сутте-

вих відліків–екстремумів, класифікації СВ-Е та визначення зашумлених ділянок, де СВ-Е кодуються з використанням мінімальної кількості біт АЦП q_{\min} . При цьому компактне кодування даних здійснюється з урахуванням досягнення мінімально необхідного коефіцієнту стиску даних з допустимими втратами інформації $K_{C\min}$. Спільне використання адаптивних алгоритмів компактного кодування моніторингових сигналів та формування завадостійких КСП пакетів інформації забезпечують основу для побудови високоінформативних ОС бездротових мереж тривалого моніторингу станів промислових об'єктів і якості виконання технологічних процесів у виробництві,

Висновки. Для реалізації високошвидкісної та захищеної передачі інформації в радіоканалах з шумами необхідне використання приймачів ПП з багатоканальними аналізаторами прийнятих сигнально-кодових послідовностей пакетів та заданої кількості кореляційних обчислювачів ШПС, що використовуються для передачі інформації в шумах робочої смуги частот. В результаті переміщення даних, що належать до різних КСП одного пакету або сусідніх пакетів, деперемішування прийнятої інформації та реалізації визначення втрачених даних з використанням правильно прийнятих бітів з відомими взаємозв'язками сусідніх бітових послідовностей інформаційних кадрів пакетів, досягається відновлення даних, вражених каналними завадами. Суттєве зменшення інформаційних потоків в промислових моніторингових мережах досягається шляхом оперативного визначення та компактного кодування амплітудно-часових параметрів СВ-сигналів. Спільне використання адаптивних алгоритмів компактного кодування моніторингових сигналів та формування завадостійких КСП ПП складають основу для побудови ефективних ОС бездротових мереж тривалого моніторингу станів промислових об'єктів і якості виконання технологічних процесів у виробництві.

1. *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
2. *Ільченко М.Ю., Кравчук С.О.* Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: Наук. думка, 2008. – 328 с.
3. *Самоорганизующиеся* радиосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко и др. – К.: Там же, 2013. – 444 с.
4. *Технологія* багатофункціональної обробки і передачі інформації в моніторингових мережах / Б.М. Шевчук, В.К. Задірака, Л.О. Гнатів та ін. – К.: Там же, 2010. – 370 с.

5. *Резаи В., Шевчук Б.М., Зинченко В.П.* Оптимизация ввода и обработки данных в процессе контроля качества производства сложных систем / Праці міжнар. симп. «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXV)», Т. 2, Україна, Крим, смт. Качивелі 24–29 вер. 2009 р., Київ, 2009. – С. 244–248.
6. *Резаи В.* Создание беспроводных сетей мониторинга промышленного производства // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2009. – № 8. – С. 90–96.
7. *Шевчук Б.М.* Надійна і захищена передача інформації в радіомережах промислового призначення та для зв'язку між мобільними роботами і рухомими системами // Штучний інтелект. – 2012. – № 2. – С. 80–87.
8. *Теория* надежной и защищенной передачи данных в сенсорных и локально-региональных сетях / Я.Н. Николайчук, Б.М. Шевчук, А.Р. Воронич и др. // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – № 2. – С. 161–174.
9. *Шевчук Б.М.* Формування кодово-сигнальних послідовностей об'єктними системами безпроводових сенсорних мереж / Праці міжнар. наук. конф. до 90-річчя від дня народження В.М. Глушкова «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XL)», 30 вер. – 1 жовт. 2013. – К., 2013. – С. 277–278.
10. *Шевчук Б.М.* Оптимизированные по быстрдействию и точности кодирования методы и алгоритмы повышения информационной эффективности абонентских систем беспроводных сетей // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – № 6. – С. 137–151.
11. *Шевчук Б.М., Задірака В.К., Фраер С.В.* Підвищення ефективності передачі інформації в моніторингових мережах на основі оптимізації обчислень в процесі кодування даних засобами об'єктних систем сенсорних мереж // УСИМ. – 2015. – № 3. – С. 65–76.
12. *Шевчук Б.М.* Системний підхід до вирішення проблем оптимізації обчислень засобами об'єктних систем сенсорних мереж // Інформ. технол. та комп'ютерна інж. – 2013. – № 1. – С. 88–95.
13. *Шевчук Б.М., Задірака В.К., Фраер С.В.* Алгоритмічні основи підвищення інформаційної ефективності передачі даних в сенсорних мережах // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2013. – № 12. – С. 140–149.
14. *Оперативне* розпізнавання фрагментів і комплексів сигналів та визначення параметрів об'єктів відеоданих засобами об'єктних систем бездротових мереж / Б.М. Шевчук, В.К. Задірака, С.В. Фраер та ін. // Штучний інтелект. – 2013. – № 3. – С. 275–283.

Поступила 09.04.2015

Тел. для справок: +38 044 526-4569 (Київ)

© Б.М. Шевчук, В. Резаи, В.П. Зинченко, 2015

Адаптивное кодирование данных, формирование и передача помехоустойчивых пакетов информации в сетях промышленного мониторинга

Введение. Для современного производства характерно максимальное применение автоматизированных линий и технических роботов с целью исключения человеческого труда как наиболее ненадежного элемента в обеспечении высокого качества производства. Вместе с тем влияние человеческого фактора на качество производства проявляется через управление операторами автоматизированными комплексами и системами. При этом на различных этапах и уровнях производства используется физический и умственный труд большого количества людей, что нуждается в многоуровневой организации контроля качества производства. Следует отметить, что на нижних уровнях промышленного и сельскохозяйственного производства осуществляется обработка материалов, энергии, информации. На более высоких уровнях производства требуется получение и обработка достоверной информации о комплектующих и материалах поставщиков, выполнение технологических процессов производства, испытания работы узлов и систем сложных технических объектов. Поэтому для обеспечения высокого качества производства необходим сбор достоверных данных на всех этапах жизненного цикла технического объекта, оперативная доставка мониторинговых данных в удаленный сервер предприятия. Соответственно, каждая деталь, узел и система технического объекта сопровождается технологической информацией, подтверждающей высокое качество изготовления сложных объектов.

Существенная роль в организации контроля качества производства отводится сетевым средствам сбора, обработки, кодирования и передачи первичных сигналов, подлежащим контролю и экспресс-анализу на ранних этапах производства сложных технических объектов и на этапе испытания функционирования их отдельных узлов и подсистем. Поскольку на производстве объекты мониторинга часто отдалены и рассредоточены на большой территории, часто меняют свое местонахождение в пределах территории предприятия, то для сбора, обработки и передачи данных мониторинга целесообразно применять абонентские системы (АС) беспроводных сетей [1–6]. Данные АС устанавливаются в местах отбора мониторинговой информации и передачи команд управления для формирования сигналов на исполнительные механизмы технологического оборудования.

Постановка задачи

Учитывая наличие промышленных помех, актуальной задачей в решении проблем оперативной доставки достоверной мониторинговой информации в удаленный сервер предприятия есть реализация комплекса алгоритмов компактного и помехоустойчивого кодирования данных промышленного мониторинга непосредственно в местах возникновения информационных потоков, т.е. на рабочих

местах производственных цехов и на испытательных участках. Поэтому целесообразно в местах ввода мониторинговой информации средствами объектных систем (АС, которые устанавливаются в местах отбора информации) беспроводных сетей (БС) реализовать ввод и кодирование достоверных и информативных данных, направляемых в каналы связи многоуровневой сети промышленного мониторинга. Учитывая низкую производительность процессоров объектных систем (ОС) беспроводных сетей, которые должны длительное время работать в режиме автономного питания, нерешенными задачами в построении промышленных мониторинговых сетей будет отбор, кодирование и передача достоверных и защищенных мониторинговых данных непосредственно в местах зарождения информационных потоков компьютерных БС. Эти задачи решаются на основе реализации процессорами ОС эффективных по быстродействию и точности кодирования данных мониторинга.

Цель статьи – разработка теоретических и алгоритмических основ реализации эффективного кодирования сигналов, подлежащих длительному мониторингу средствами АС БС с ограниченной производительностью процессора АС, а также формирование информативных (с повышенной информационной емкостью) и минимальных по длительности помехоустойчивых пакетов информации каждой АС (ОС) беспроводной сети. При этом эффективность кодирования данных промышленного мониторинга достигается минимизацией вычислительных операций в процессе фильтрации и сжатия достоверных отсчетов мониторинговых сигналов, сжатия и защиты потоков данных, подлежащих накоплению или передаче в пакетном режиме по каналам связи мониторинговых сетей.

Реализация эффективного кодирования и передачи мониторинговых данных объектными системами беспроводных компьютерных сетей

Пакетная передача больших массивов информации предполагает последовательную передачу с обратной связью (с подтверждением успешной передачи) коротких подмассивов данных (информационных кадров пакетов), на которые разбивается первичный массив с дополнительной служебной информацией. При наличии чистого от шумов канала связи объем данных пакета или его длина выбирается максимальной, как правило, единицы килобит, а при наличии шумов длина пакетов соответственно уменьшается. Максимальная канальная скорость передачи информации $v_{c \max}$ определяется минимальной длительностью кодово-сигнальных последовательностей (КСП) информационных пакетов (ИП). В случае передачи двоичных данных с длительностью битовых последовательностей T_b и периодом повторения противоположных последовательностей $t_p = 2T_b = 1/F$,

т.е. когда осуществляется передача наиболее высокочастотных последовательностей ... 010101 или101010, максимальная скорость передачи информации определяется выражением

$$v_{c,max} = 1/T_b = 2F \text{ бит/с,}$$

где F – величина рабочей полосы частот в герцах.

Для качественного возобновления двоичного символа необходимо увеличивать ширину полосы F с учетом заданного качества возобновления крутизны фронтов импульсных сигналов [1]. Поэтому при заданной (ограниченной) полосе частот $F = 1/2T_b$ скорость передачи информации R_{max} уменьшается на величину $k_s \geq 1,4$ [1], т.е. $R_{max} = v_{c,max} = 2F/k_s = 1/k_s \cdot T_b$, где $k_s = (F + F_0)/F_0$ – коэффициент, учитывающий качество возобновления фронтов цифровых сигналов, F_0 – избыточная полоса частот (часть полосы F), определяющая качество возобновления фронтов двухуровневых сигналов. Поскольку передача цифровых сигналов в каналах с шумами приводит к значительным искажениям огибающей двухуровневых сигналов (в канале связи цифровые сигналы – аналоговые, на которые хаотически накладываются шумовые составляющие), то для повышения помехоустойчивости передачи информации необходимо увеличивать базу B полезного сигнала, где $B = T_b \cdot F$ [7]. При ограниченной полосе частот F это приводит к увеличению длительности T_b . Для эффективной передачи двоичных данных в шумах радиоканала вместо n -битовой последовательности, $n \geq 1$, в канал связи передается псевдослучайная (шумоподобная) последовательность двухуровневых сигналов [1, 8], количество двоичных элементов которых – B и может уменьшаться в зависимости от косвенно определенного уровня шумов в точке приема информации [7]. С учетом предварительного сжатия мониторинговых данных с допустимыми потерями информации, сжатия данных без потерь и формирования компактных КСП ИП максимальная информационная скорость передачи информации $R_{i,max}$ определяется

$$\text{ся выражением } R_{i,max} = \frac{K_c(\delta_d^N) \cdot L}{k_s \cdot T_b \cdot B(\gamma_j)}, \text{ где } K_c(\delta_d^N) -$$

суммарный коэффициент сжатия данных на информационном уровне средств ОС мониторинговых сетей, зависящий от допустимой величины уровня входных шумов δ_d^N в окрестности существенных отсчетов сигналов, $L \leq B/4$ – количество ортогональных шумоподобных сигналов (ШПС), которые возможно асимметрично передавать в рабочей полосе частот F радиоканала, $B(\gamma_j)$ – база канального сигнала, соответствующая коэффициенту расширения спектра полезного сигнала и существенно зависящая от оценки текущего энергетического соотношения γ_j в радиоканале, j – величина временного отсчета оценки энергетического соотношения.

Таким образом, эффективная и защищенная передача данных в мониторинговых сетях основывается на реали-

зации средствами ОС БС адаптивного кодирования входных данных с переменным коэффициентом сжатия данных в больших пределах (десятки–сотни единиц) и формирования защищенных КСП пакетов информации с базой канальных сигналов, которая выбирается в больших пределах $B(\gamma_j) = \overline{B_{min}}, \overline{B_{max}}$ в зависимости от уровня шумов в радиоканале, где $B_{min} = 1$, $B_{max} = T_{b,min} \cdot N_B \cdot F$, $N_B > 10$ – количество двоичных элементов шумоподобного сигнала. Поскольку в радиосетях с ШПС максимальная скорость передачи информации $R_{i,max}$ снижается в B раз, то реализация высокоскоростной передачи шумоподобных ИП (ИП-ШПС) достигается путем оперативного определения минимально необходимой текущей базы $B_{i,min}$ КСП ИП-ШПС. В наиболее простом случае $B_{i,min}$ определяется в процессе установления связи между парами активных абонентов [7], получивших доступ к радиоканалу. Анализ процессов формирования компактных КСП ИП [9, 10] показывает, что повышение эффективности передачи информации при ограниченной рабочей полосе частот F достигается путем преобразования n -битовых последовательностей ИП, $n \geq 2$, в k -интервальный код, где индекс k определяет минимальное количество интервалов КСП ИП, а индекс l – общее количество интервалов кодовых последовательностей ИП в диапазоне от $T_{min} = T_b$ до $T_b + (l-1)\Delta T$, где $\Delta T = k_s \cdot T_b$, $k_s < 1$ и выбирается в зависимости от определенного уровня шумов в радиоканале. Путем псевдохаотического выбора параметров $n = 4, 5, 6, 7$, $k = 2, 3$, $l = 4, 6$ в процессе формирования интервальных КСП реализуется криптоустойчивая передача ИП, когда скорость передачи информации увеличивается в два раза [11].

Передача и прием шумоподобных ИП нуждается в применении усложненных цифровых приемников (корреляционных вычислителей) ШПС, которые на текущем интервале длительности элемента ШПС, в простейшем случае [4], вычисляют взаимомодульную функцию между ожидаемым (опорным) ШПС и входным сигналом согласно выражения $G(j) = \sum_{i=1}^B |S_i - X_{i+j}|$, где $G(j)$ – отсчет функции ШПС при j -м сдвиге отсчетов принятого сигнала X_j , $j = 0, 1, 2, \dots, B, \dots, 2B, \dots$ – величина временного сдвига, S_i – i -й элемент опорного ШПС. В случае применения l шумоподобных КСП цифровой приемник ШПС состоит из l независимых вычислителей заданной корреляционной функции соответствующих ШПС, применяемых для повышения защищенности (помехоустойчивости, криптоустойчивости, скрытности) передачи информации в радиоканале с шумами. Выходные данные корреляционных приемников подлежат анализу для принятия решения о приеме соответствующей КСП. Не исключена ситуация, когда из-за действия мощных помех на текущем интервале приема и анализа данных

невозможно принять достоверное решение о приеме одной из l КСП. Возобновление утраченной информации достигается путем реализации комплекса алгоритмов помехоустойчивого кодирования данных и их перемешивания [1, 12] в процессе формирования КСП ИП.

При применении одного корреляционного вычислителя приемника ИП-ШПС на интервале длительности элемента ШПС $\tau \geq T_{b_{\min}}$ осуществляется один и более опросов выходного сигнала демодулятора абонентского радиоприемника [4] и вычисление корреляционной функции ШПС. Для успешного приема ИП-ШПС необходимо обнаружение характерного начала ИП с дальнейшей синхронизацией интервалов опроса входного сигнала и моментов принятия решения о приеме соответствующей битовой последовательности ИП. Следует отметить, что момент принятия решения на временном интервале может быть известен только паре абонентов передачи и приема ИП-ШПС, а в зависимости от уровня корреляционной функции относительно опорного сигнала в этот момент формируется сообщение о приеме единичного уровня (сигнал a), нулевого уровня (сигнал \bar{a}) или неизвестного уровня (прием «зашумленного сигнала») [4]. В случае применения двух корреляционных вычислителей приемника ИП-ШПС обеспечиваются условия достоверного распознавания четырех сигналов (a, \bar{a}, b, \bar{b}), что служит основой для передачи одним шумоподобным сигналом двух битовых последовательностей. Для достижения максимальной скорости передачи данных двумя ШПС одновременно передаются две двухбитовые последовательности, при этом значительно ослабевает помехоустойчивость передачи информации. Дальнейшее увеличение скорости передачи информации достигается преобразованием n -битовых последовательностей, $n = 5, 6$, в k_l -интервальный шумоподобный код, где $k = 2$, $l = 3, 4$, т.е. соответствующие n -битовые последовательности передаются двумя последовательными ШПС, длительность которых $T_{\text{шпс}} \geq N_B \cdot \tau$, где N_B – количество элементов ШПС. При $n = 5$ и применении трех корреляционных вычислителей ($l = 3$) скорость передачи информации ИП-ШПС увеличивается в 2,5 раза, а при $n = 6$ и применении четырех корреляционных вычислителей ($l = 4$) скорость передачи информации ИП-ШПС увеличивается в три раза. Для перекодирования n -битовых последовательностей в k_l -интервальный шумоподобный код применяются таблицы, согласованные с абонентскими закрытыми ключами, в которых заданным двоичным кодам соответствуют комбинации двух ШПС, выбранных из следующих сигналов (типов ШПС): $aa, \bar{a}\bar{a}, a\bar{a}, \bar{a}a, ab, ba, \dots, ac, ca, \dots, ad, da, \dots, dd, \bar{d}\bar{d}, d\bar{d}, \bar{d}d$. Для уменьшения количества минимально необходимых комбинаций сигналов в сжатом и защищенном массиве n -битовых последовательностей целесообразно обеспечить

$m \leq m_{\max}$, где $m_{\max} = 3, 4, 5$ – максимальное количество соседних однотипных битовых данных. Оперативная реализация этого требования достигается на основе гаммирования сжатых данных с криптоустойчивыми последовательностями с $m \leq m_{\max}$, а на конечном этапе преобразования массивов данных осуществляется бит-вставка [10]. Путем псевдохаотического выбора параметров n, k, l и B_i реализуется криптоустойчивая передача ИП на канальном уровне. Таким образом, для реализации высокоскоростной и адаптивной передачи информации в радиоканалах с шумами необходимо применение приемников ИП (ИП-ШПС) с многоканальными анализаторами принятых сигнально-кодовых последовательностей ИП и соответствующего количества корреляционных вычислителей ШПС, которые применяются для передачи информации в шумах рабочей полосы частот.

Пакетная передача информации между отдаленными абонентами радиосети предполагает успешную реализацию доступа к общим ресурсам сети – радиоканалу, передаче активным абонентом одного и более ИП и получению ответного пакета–квитанции (ПК) от абонента–адресата. На практике передача ИП между абонентами радиосети осуществляется в режимах централизованного управления передачей данных и на основе множественного доступа абонентов (объектных систем) к радиоканалу. В режиме централизованной передачи информации центральная станция (ЦС) радиосети (ячейки, кластера) в широкоэмитальном режиме передает управляющий пакет, в котором сообщает адрес активного абонента и параметры формирования КСП ИП. Соответствующий абонент, получивший управляющий пакет, передает ИП с предварительно согласованной базой канального сигнала. Целесообразность применения режима централизованной передачи информации возникает при активизации значительного количества ОС радиосети (более 60–70 процентов от общего количества абонентов) и для исключения конфликтов при передаче ИП ЦС осуществляет первоочередной опрос наиболее приоритетных ОС. Применение децентрализованной передачи информации наиболее эффективно при ограниченной активности большей части ОС. В этом режиме ЦС может выполнять роль синхронизатора множественного доступа активных абонентов к общему радиоканалу, т.е. когда абоненты в децентрализованном режиме последовательно, один за другим, с минимальными интервалами доступа к радиоканалу передают сформированные ИП. В управляющих пакетах ЦС задает базу ИП и другие параметры формирования и передачи пакетов.

Исходя из необходимости обеспечения минимальных временных потерь на передачу информации от многих ОС для определения момента пуска процедуры доступа к радиоканалу абонентам радиосети целесообразно определять моменты завершения управляющих пакетов или ПК. Поэтому в режиме множественного доступа к общим ресурсам сети абоненты прослушивают радиока-

нал и, в случае его занятости, откладывают попытку передачи ИП на случайный интервал времени. При обнаружении свободного радиоканала активные абоненты реализуют процедуру множественного доступа к радиоканалу [3, 4] с определением единственного абонента, который в дальнейшем будет осуществлять бесконфликтную передачу ИП. Для минимизации конфликтов более приоритетные абоненты быстрее других абонентов реализуют процедуру доступа и среди них определяется наиболее активный абонент. При наличии значительных шумов в радиоканале для согласования текущей величины базы ИП $B_{\min} \leq B_i \leq B_{\max}$ абонент–передатчик ИП в первом пакете, посредством которого осуществляется установление связи, передает КСП с различными базами B_i в предварительно заданном диапазоне $B_i = \overline{B_{\min}, B_{\max}}$. После приема первого пакета и анализа выходных сигналов корреляционного приемника [4, 7] абонент–приемник ИП оперативно определяет качество радиоканала в точке приема ИП и пакетом–квитанцией абонент–приемник уведомляет абонента–передатчика о необходимой величине B_i . В дальнейшем при формировании, передаче и приеме пакетов абоненты выбирают B_i (количество элементов ШПС N_B), минимально необходимую для надежной и защищенной передачи информации в шумах радиоканала. При этом от пакета к пакету величина базы B_i может изменяться в зависимости от текущего уровня шумов в радиоканале. С целью криптоустойчивой передачи информации на канальном уровне, текущую базу ШПС можно также изменять для каждой КСП пакета. В случае искажения шумами соответствующих сигнально-кодовых последовательностей ИП при обратном перемешивании правильно принятых битовых последовательностей и возобновления информации на основе помехоустойчивого кодирования данных с известными взаимосвязями соседних битовых последовательностей информационных кадров пакетов [12], достигается возобновление данных, искаженных канальными помехами. Отметим, что вследствие перемешивания данных различных КСП соседней группы пакетов, обратного перемешивания принятой информации и возобновления искаженных шумами данных, обеспечивается возобновление информации утерянных пакетов. В случае невозможности возобновления данных, искаженных канальными шумами (эта ситуация проявляется в отсутствие соответствующего ПК), осуществляется повторная процедура установления связи и передача ИП с уточненной базой ШПС.

Основа информационных кадров ИП – это компактные данные выборки мониторинговых сигналов. Повышение точности и быстродействия компактного кодирования отсчетов сигнала с допустимыми потерями информации достигается путем максимально допустимого прореживания отсчетов входной выборки данных, адап-

тивного выбора окна усреднения l_u в процессе фильтрации сигнала, где $l_u = f(\Delta X_{CB}^F)$, ΔX_{CB}^F – приращение отфильтрованного сигнала между соседними существенными отсчетами (СО), а также путем реализации адаптивной медианной фильтрации и выбора оптимального (максимально допустимого) интервала опыта (отбора) отсчетов сигнала на чистых и зашумленных участках, учитывая, что частота дискретизации сигнала выбирается избыточной, т.е. $f_d = k \cdot f_{\max}$, где $k = \varphi(q_{\max}) \geq 8-10$, q_{\max} – максимальное количество бит для кодирования отсчетов сигнала, f_{\max} – максимальная частота спектра сигнала. С целью ускорения и оптимизации (минимизации вычислительных операций) обработки и кодирования данных интервал отбора избыточных отсчетов текущей выборки сигнала t_v определяется адаптивно с учетом зависимости: $t_v = f(\Delta X_{CB_i}^N, \{\Delta X_{CB_j}^F\})$, где $\{\Delta X_{CB_j}^F\} = \Delta X_{CB}^F / d_j$ – нормированная крутизна сигнала между текущими соседними СО, $\Delta X_{CB_j}^F = X_{CB_j}^F - X_{CB_{j-1}}^F$, $d_j = 1, \dots, r$ – количество отсчетов дискретизации сигнала между CB_{j-1} и CB_j , r – максимальное количество отсчетов между соседними СО.

Поскольку обработка и кодирование входных сигналов осуществляется ограниченными по длине (объему входных данных) выборками сигналов, то на интервале текущей выборки определяются и запоминаются коды вида участка сигнала (чистый/зашумленный), количества СО на участке, количество бит со знаком для кодирования разностных амплитудных значений между соседними СО участка, количество промежуточных несущественных отсчетов (НО) между соседними СО участка. На основе полученных данных определяются сокращенные коды максимального количества бит со знаком для кодирования разностных амплитудных значений между соседними СО участка и количества промежуточных НО между соседними СО. В результате, после определения параметров СО текущей выборки данных, предварительно определяется и оптимально кодируется служебная информация параметров адаптации $\{CI_{ПА}\}$ текущего участка соответствующей выборки сигнала, включая вид кодирования участка (ВК), N – битовый код количества СО на участке $\{N_{CB}\}$, m – битовый код со знаком количества n бит для кодирования разностных амплитудных значений соседних СО, b – битовый код количества l_b бит для кодирования разности между номерами соседних СО, что соответствует коду количества промежуточных НО между соседними СО. Для простоты кодирования служебная информация параметров адаптации $\{CI_{ПА}\}$ может задаваться предварительно для всей выборки сигнала с учетом максимальных значений соответствующих кодов. Значительным преимуществом алгоритма компактного кодирования отсчетов сигналов, оптимизированного по быстродействию и точности кодирования, является тот факт, что после реализации оперативной адаптивной фильтрации отсчетов сигнала и определения

амплитудно-временных параметров СО, получаем параметры СО на участках с шумами. Параметры СО, которые относятся к чистым участкам, подлежат дальнейшему уточнению. Для экономии времени работы центрального процессора ОС в процессе фильтрации и первичного определения параметров СО целесообразен отбор отсчетов сигнала из оперативной памяти ОС с максимально допустимым прореживанием отсчетов входного сигнала. Кодирование СО на чистых и зашумленных участках сигнала осуществляется с применением общей служебной информации, служебной информации (вычисленных параметров адаптации) текущих выборок сигнала, разностных кодов амплитудных и временных значений СО выборок сигнала, при этом первый отсчет текущей выборки сигнала кодируется полноразрядным кодом. В наиболее простом случае служебная информация (общая и текущих выборок) может быть сведена к минимуму, когда задаются величины: f_s , ΔX_i^N , Q_{\max} , максимальное количество бит, необходимое для кодирования разностных кодов амплитудных значений СО, максимальное количество бит, необходимое для кодирования количества НО между соседними СО, т.е. разностных временных значений соседних СО, способ кодирования компактных данных СО и НО. Общая служебная информация $\{CI_o\}$ состоит из таких кодов: t – битового кода реального времени; c – битового кода номера текущей выборки данных; f – битового кода для кодирования максимальной частоты дискретизации сигнала; q – битового кода для кодирования максимального количества бит полноразрядных СО; k – битового кода количества r бит для кодирования информации о выбранном виде компактного кодирования данных.

Таким образом, в оперативных алгоритмах с разностным кодированием СО сжатие сигналов достигается поиском существенных отсчетов–экстремумов, классификации СО и определения зашумленных участков, на которых СО кодируются с использованием минималь-

ного количества бит АЦП q_{\min} . При этом компактное кодирование данных осуществляется с учетом достижения минимально необходимого коэффициента сжатия данных с допустимыми потерями информации $K_{\text{Сmin}}$. Совместное использование адаптивных алгоритмов компактного кодирования мониторинговых сигналов и формирования помехоустойчивых пакетов информации обеспечивают базу для построения высокоинформативных ОС беспроводных сетей длительного мониторинга состояний промышленных объектов и качества выполнения технологических процессов на производстве.

Заключение. Для реализации высокоскоростной и защищенной передачи информации в радиоканалах с шумами необходимо применение приемников ИП с многоканальными анализаторами принятых сигнально-кодовых последовательностей пакетов и заданного количества корреляционных вычислителей ШПС, используемых для передачи информации в шумах рабочей полосы частот. При перемешивании данных, относящихся к различным КСП одного пакета или соседних пакетов, обратного перемешивания принятой информации и реализации определения искаженных данных с применением правильно принятых битов с известными взаимосвязями соседних битовых последовательностей информационных кадров пакетов, достигается возобновление данных, искаженных канальными помехами. Существенное уменьшение информационных потоков в промышленных мониторинговых сетях достигается на основе оперативного определения и компактного кодирования амплитудно-временных параметров СО-сигналов. Совместное применение адаптивных алгоритмов компактного кодирования мониторинговых сигналов и формирования помехоустойчивых КСП ИП обеспечивают базу для построения эффективных ОС беспроводных сетей мониторинга состояний промышленных объектов и качества выполнения технологических процессов в промышленности.

UDC 681.31

Shevchuk B.M., Rezaei V., Zinchenko V.P.

Adaptive Coding of Data Creation and Transmission of Noise Immune Data Packages Over Industrial Monitoring Networks

The information technology for improving the efficiency of wireless networks for monitoring industrial use based on shared adaptive algorithms for compact encoding of monitoring signals and formation of noise immune coded signal sequences for information packages, transmitted in noisy channels is presented. Achieving high speed, noise immune transmission of information packages is offered by the operational definition of the minimum necessary base of coded signal sequence packages, pseudo-chaotic choice of parameters for forming them and operational definitions and compact encoding of amplitude- and time-driven parameters for counting monitoring signals. In a limited operating bandwidth, efficient data monitoring is achieved through transformation of relevant bit sequence packages of information into the interval code. High-speed and secure transfer of information in noisy channels requires the use of digital receivers with multichannel analyzers of coded signal sequences and a specified number of correlational noise signal calculators, used to transmit coded signal package sequences. By mixing data related to various coded signal sequences from one package or from several packages, re-mixing received data and definition of lost data, using the right bits taken from known relationships of neighbouring bit sequences, data recovery is achieved. The proposed information technology for data transmission is the foundation for building effective systems of wireless networks for continuous monitoring of industrial facilities and quality of processes in the manufacturing.