

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 681.31

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕФЕКТИВНИХ ОБ'ЄКТНИХ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ. ЧАСТИНА 1

¹⁾Шевчук Б.М., ²⁾Гераймчук М.Д., ¹⁾Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна, ²⁾Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

Здійснений аналіз функціонування абонентських (об'єктних) систем комп'ютерних мереж, які забезпечують виконання комплексу операцій багатофункціональної обробки, кодування та формування псевдохаотичних криптистійких і завадостійких пакетів даних мінімальної тривалості, запропоновані підходи до мінімізації інформаційних потоків в комп'ютерних мережах тривалого моніторингу станів об'єктів

Вступ

Бурхливий розвиток комп'ютерних мереж та їх широке застосування в різноманітних галузях людської діяльності зумовлено швидкими темпами розвитку процесорів і мікрокомп'ютерів, а також пакетних мереж передачі інформації. Перспективні напрямки використання комп'ютерних мереж та їх впровадження в промисловість, сільське господарство, охорону здоров'я та навколишнього середовища і таке ін. пов'язані прискореним розвитком безпроводових широко-смугових мереж персонального, локального, регіонального та глобального рівнів зв'язку [1-3], включаючи мережі передачі даних у відповідності до стандартів IEEE 802.xx (Wi-Fi, Wi-Max, Bluetooth, ZigBee та ін.), сенсорні мережі, побудовані у відповідності до технологій Wireless Hart, Eaton RSR, MeshLogic, мережі надширокосмугового зв'язку (UWB-системи), супутникові та мікросупутникові мережі передачі інформації. Основним недоліком широко-смугових мереж, окрім UWB-систем, є використання каналів зв'язку, збиткових по ширині робочої смуги частот, при цьому база каналних сигналів є невеликою і незмінною. Це призводить до неефективного використання каналів зв'язку, а передача даних в умовах високих промислових завад призводить до низької надійності зв'язку. В сучасних UWB-системах обмеженою є дальність зв'язку.

Постановка задачі

В цій статті, з урахуванням розробки безпроводових комп'ютерних мереж при малих початкових та експлуатаційних капіталовкладень, розглядаються питання підвищення швидкості та надійності передачі інформації за рахунок реалізації засобами абонентських (об'єктних) систем методів і алгоритмів зменшення вихідних потоків даних (потоків пакетів даних). Вирішення цієї проблеми досягається шляхом реалізації в місцях виникнення інформаційних потоків

ефективних (швидкодіючих і точних) методів фільтрації і стиску сигналів та зображень, а також зменшення тривалості двійкових послідовностей пакетів даних, що еквівалентно підвищенню коефіцієнта стиску даних без втрат.

Метою статті є обґрунтування побудови абонентських (об'єктних) систем інформаційно-ефективних комп'ютерних мереж, в яких реальна пропускна здатність каналу (підканалів моноканалу) зв'язку наближається до максимально можливої, при цьому пакети даних кодуються і передаються псевдохаотичними інтервальними сигналами, база яких адаптивно змінюється в залежності від поточно визначеного співвідношення сигнал/шум в каналі зв'язку. Основою побудови таких мереж є створення об'єктних систем з підвищеною інформативністю [4], які шляхом реалізації багатофункціональної обробки та кодування первинних потоків даних (сигналів, зображень, відеоданих, двійкових масивів даних) формують та передають крипостійкі та завадостійкі пакети інформації мінімальної тривалості.

Принципи функціонування абонентських (об'єктних) систем інформаційно-ефективних (високоінформативних) комп'ютерних мереж

Функціонування комп'ютерних мереж ґрунтується на пакетній передачі даних абонентськими системами (АС) мережі, які можуть встановлюватись на віддалених об'єктах дослідження і керування (ОДіК) або об'єктах тривалого моніторингу (ОТМ). Враховуючи специфіку та завдання тривалого моніторингу ОДіК(ОТМ) такі АС отримали назву об'єктні системи (ОС). Для підвищення ефективності функціонування комп'ютерних мереж АС(ОС) повинні характеризуватись багатофункціональністю в обробці і кодуванні даних (даних моніторингу) та забезпечувати мінімізацію інформаційних потоків в місцях їх зародження, що в кінцевому рахунку для i -ої АС(ОС), $i = \overline{1, N_{\max}}$, N_{\max} – максимальна кількість активних абонентів комп'ютерної мережі, приводить до зменшення кількості переданих пакетів інформації та їх тривалості. Мінімізація інформаційних потоків на об'єктах перш за все досягається за рахунок виявлення інформативних та достовірних первинних даних на етапі введення вхідних даних від ОДіК(ОТМ) засобами АС(ОС). На основі отриманих даних про якість введеної інформації забезпечуються умови для оптимізації процесів фільтрації і компактного кодування вхідних даних, експрес-аналізу сигналів, зображень, відеоданих та станів ОДіК(ОТМ). З точки зору теорії інформації кожен АС(ОС) можна розглядати як джерело інформації (вихідних пакетів даних), при цьому інформативність вхідних сигналів [5], зображень та результатів обробки даних моніторингу на об'єктах за рахунок реалізації ефективних за обчислювальною складністю і точністю методів і алгоритмів багатофункціональної обробки і кодування даних [4,6,7] перетворюється в інформативність компактних інформаційних кадрів пакетів даних. Відповідно високоінформативні комп'ютерні мережі (ВІКМ), включаючи радіомережі, характеризуються оптимальним вирішенням комплексу проблем в місцях виникнення інформаційних потоків з урахуванням мінімізації сумарного трафіку достовірних даних в спільному ресурсі

ВІКМ – мережі передачі даних [8]. Ефективність функціонування ВІКМ суттєво залежить від оптимізації вирішення проблем введення, обробки, кодування, формування та передачі пакетів даних кожним абонентом мережі. В свою чергу кожна АС(ОС) повинна характеризуватись високою інформативністю при виконанні складових операцій багатофункціональної обробки масивів даних. В результаті програмно-апаратної реалізації обробки та кодування даних в канал зв'язку (моноканал, підканали моноканалу) відправляються оптимізовані по тривалості, криптостійкі та завадостійкі пакети даних. Підвищення інформативності кожної АС(ОС) і ВІКМ в цілому пов'язане з підвищенням достовірності, компактності і захищеності пакетів даних, включаючи захищеність від несанкціонованого доступу до даних і їх підміни, а також захищеність бітів пакетів даних від спотворень каналними завадами. Узагальнений операторний алгоритм функціонування АС(ОС) ВІКМ має вигляд [8]:

$$\begin{aligned}
 \text{ОДіК(ОТМ)} \Rightarrow O_{в\delta} \Rightarrow O_{ф\delta} \Rightarrow O_{с\delta} \Rightarrow O_{з\delta} \Rightarrow O_{зк\delta} \Rightarrow O_{ф\text{ІІ}} \Rightarrow O_{\delta\text{кз}} \Rightarrow O_{\text{ПерІІ}} \\
 \leftarrow O_{\text{фск}} \leftarrow O_{\delta\text{і}} \leftarrow O_{\text{ПрІІ}}
 \end{aligned}$$

де при передачі даних - $O_{в\delta}, O_{ф\delta}, O_{з\delta}, O_{зк\delta}, O_{ф\text{ІІ}}, O_{\delta\text{кз}}, O_{\text{ПерІІ}}$, відповідно оператори введення даних, фільтрації даних, стиску даних, захисту даних, завадостійного кодування даних, формування інформаційних пакетів (ІІ), доступу до каналу зв'язку, передачі ІІ, а при прийомі даних - $O_{\text{ПрІІ}}, O_{\delta\text{і}}, O_{\text{фск}}$, відповідно оператори прийому ІІ, декодування інформації, формування сигналів керування.

Таким чином АС(ОС) ВІКМ мінімізують вхідні потоки даних та перетворюють їх у псевдохаотичні бітові послідовності мінімальної тривалості, які закодовані з точки зору досягнення попередньо заданої величини ступеня захисту інформації P_z та з урахуванням надійної передачі (доставки) даних по каналах зв'язку з шумами. Тому при введенні інформації (сигналів, фіксованих зображень, відеоданих) АС(ОС) виявляють та компактно кодують найбільш інформативні і достовірні дані, при цьому ефективність багатофункціональної обробки і кодування інформації на АС(ОС) суттєво залежить від вхідного співвідношення сигнал/шум при введенні даних, сумарної величини коефіцієнта стиску даних K_{cm} , величини P_z , поточного співвідношення сигнал/шум в каналі зв'язку.

Показником ефективності обробки і кодування даних в місцях виникнення інформаційних потоків є відносна величина, яка залежить від тривалості поточних ІІ та визначається виразом

$$\frac{T_{\text{ІІ}}^{\text{ноч}}}{T_{\text{ІІ}}^{\text{мін}}} = \frac{t_{\text{сл}}^{\text{ноч}} + N_b \cdot T_b}{t_{\text{сл}}^{\text{мін}} + \min\{T_{\text{ІК}}\}} \approx \frac{N_b \cdot T_b}{\sum_{i=1}^M f_i \cdot p_i \cdot T_i} \quad (1)$$

де $T_{\text{ІІ}}^{\text{ноч}}$ – початкова тривалість інформаційного пакету до компактного кодуван-

ня первинних масивів даних; T_{III}^{\min} – мінімізований по тривалості ІІ після компактного кодування даних; $t_{сл}^{поч}$ – тривалість службових даних початкового ІІ (тривалість початку ІІ, поля адреси, поля керування, поля перевірок кодів та кінцевика ІІ); N_b – кількість біт початкового ІІ; T_b – мінімальна тривалість бітового елемента; $t_{сл}^{\min}$ – тривалість службових даних в пакеті, довжиною T_{III}^{\min} ; $\min\{T_{IK}\}$ – мінімальна сумарна тривалість інформаційного кадру після кодування; f_i – частота зустрічі i -ї двійкової послідовності; p_i – номер двійкової послідовності, яка кодується відповідним інтервальним імпульсним сигналом [4]; T_i – тривалість двійкової послідовності; M – максимальна кількість двійкових послідовностей.

Очевидно, що при значних шумах в каналі зв'язку тривалість закодованого інформаційного кадру є значно більшою в порівнянні з аналогічним кадром при використанні “чистого” каналу зв'язку та суттєво залежить від величини бази сигналу, що передається в каналі зв'язку. В свою чергу база сигналу вибирається адаптивно в процесі організації передачі даних між віддаленими абонентами.

Для обробки і кодування об'єктних сигналів, зображень та відеоданих без залучення потужних процесорів, вартісних кодексів і спецпроцесорів актуальними є методи і алгоритми фільтрації-стиску даних, оптимізованих по швидкодії та обчислювальній складності [6,7], які базуються на “сигнальному підході”. Згідно такого підходу в масиві первинних даних вимірювальних сигналів і статичних та динамічних зображень визначаються і кодуються суттєві відліки, точність амплітудно-частотних характеристик яких визначається в процесі реалізації фільтрації-стиску огинаючої кривої сигналів (відеосигналів) та залежить від поточного вхідного співвідношення сигнал/шум $[c/u]_{ex}$ і заданого мінімального значення коефіцієнта стиску даних K_{cmin} . Необхідно відмітити, що сам процес фільтрації сигналів і зображень спотворює первинні дані, достовірність відліків яких суттєво залежить від величини $[c/u]_{ex}$. Тому на “зашумлених” ділянках сигналів і зображень молодші двійкові біти відліків є недостовірними і немає змісту точно кодувати вхідні дані. Також на відповідних ділянках огинаючої сигналів (відеосигналів) незначні по амплітуді високочастотні зміни можливо замінити усередненим сигналом. Описані дії дозволяють суттєво підвищити коефіцієнт стиску сигналів і зображень. Відповідно на першому етапі обробки даних вхідні відліки сигналів і зображень необхідно згладити для надійного виявлення суттєвих відліків, якими є екстремуми і точки перегину (точки зміни опуклості кривої). На ділянках огинаючої з високочастотними складовими точками перегину можна нехтувати.

Мінімально необхідна частота дискретизації сигналів вибирається адаптивно в межах величин [9] $f_{\partial K} \leq f_{\partial onm} \leq 2K_{\phi} \cdot f_{\max}$, де $f_{\partial K}$ – частота дискретизації сигналу за Котельниковим; $f_{\partial onm}$ – оптимальна частота дискретизації, яка адаптивно підбирається в процесі фільтрації-стиску сигналів; $K_{\phi} \geq 8-10$ – коефіцієнт підвищення частоти дискретизації сигналів $f_{\partial K}$, значення якого суттєво зале-

жить від метрологічних вимог до пристроїв введення і обробки сигналів; f_{\max} – максимальна частота сигналу. Найбільш простим способом адаптивного введення сигналів є їх дискретизація з максимальною частотою $f_{\text{дmax}} = 2K_{\phi} \cdot f_{\max}$ з наступним прорідженням відліків сигналів на величину K_j , де j – поточна величина коефіцієнта прорідження частоти дискретизації. Для простоти кодування значення j вибирається із величин: $j = 1, 2, 3, 4, \dots$; $j = 1, 2, 4, 8, \dots$. З метою зменшення первинних інформаційних потоків і отримання достовірних відліків вимірювальних сигналів доцільно використовувати сігма-дельта АЦП. Оптимальним вирішенням проблем введення сигналів є тактування роботи аналого-цифрового перетворювача з адаптивним періодом кодування $t_k = f(\Delta X_i^{\phi}, [c/w]_{\text{вх}}, K_{\text{смmin}})$, де $\Delta X_i^{\phi} = X_i^{\phi} - X_{i-1}^{\phi}$ – поточне значення приросту відфільтрованого сигналу, обчислене в процесі реалізації оперативної фільтрації, наприклад ковзким способом з мінімальним вікном усереднення $l_y = 4 - 5$ відліків.

З метою мінімізації інформаційних потоків без втрат по точності кодування відліків сигналів на ділянках з високочастотними шумами і на повільно змінних ділянках коефіцієнт прорідження частоти дискретизації сигналів K_j вибирається максимально можливим, а кількість достовірних біт суттєвих відліків при компактному кодуванні $q_0 = 9, 10, 11, 12$ і вибирається в залежності від ступеня "зашумленості" відповідних ділянок сигналів та характеризується різницею $\Delta X_i^u = |X_i^{\phi} - X_i^u|$, де X_i^u – поточний вхідний відлік сигналу з шумами. Шляхом порівняння ΔX_i^u з відповідними пороговими величинами P_1, P_2, \dots, P_s , де s – кількість станів ступеня "зашумленості", опосередковано визначається величина $[c/w]_{\text{вх}}$.

Компактне кодування відліків сигналів ґрунтується на обчисленні величин ΔX_i , ΔX_i^u і виборі величин $f_{\text{донт}}$ і q_0 . На відміну від вимірювальних сигналів первинний потік даних від відеосенсорів визначається роздільною здатністю відеосенсора $N \cdot M$ (N – кількість пікселів в рядку поточного кадру, M – кількість рядків кадру), кількістю біт, вибраних для кодування яскравості пікселя, а також залежить від частоти отримання кадрів і виду зображення (кольорове, монохромне).

Після реалізації алгоритму фільтрації-стиску сигналів (відеосигналів), який передбачає стиск даних з незначними витратами, здійснюється стиск масивів даних без втрат. Компактний масив даних підлягає захисту інформації шляхом гаміювання бітів даних з довготривалими псевдовипадковими послідовностями, які від пакету до пакету є змінними [6]. Кодові ключі генерації довготривалих послідовностей, які підлягають періодичній зміні, фактично є абонентськими секретними кодами. Для захисту даних від підміни та підвищення завадостійкості компактних масивів даних біти завадостійкого кодування випадковим чином маскуються в масиві даних одного або декількох пакетів даних. Основний захист бітових послідовностей пакетів даних від завад здійснюється в про-

цесі формування інтервально-імпульсних сигналів (ПС) пакетів даних [6], при цьому абонент-відправник даних і абонент-адресат (приймач даних) за допомогою центральної станції мікростільника (стільника) або без неї вибирають відповідну базу сигналів, що передаються в каналі зв'язку, та здійснюють надійну передачу даних при дії імпульсних та промислових завад. Слід зазначити, що за рахунок кодування двійкових послідовностей в процесі формування ПС додатково підвищується інформативність АС(ОС) та комп'ютерної мережі в цілому шляхом зменшення тривалості інформаційних кадрів псевдохаотичних інтервальних або шумоподібних пакетів інформацій [4]. Коефіцієнт зменшення тривалості ПП k_g , який відповідає додатковому коефіцієнту стиску двійкових даних в каналі зв'язку, досягає величин $k_g \geq 1.6 - 2$ і більше. Кодування з формуванням ПС досить ефективно може бути використане при побудові перспективних радіомереж з використанням надширококутних сигналів. При цьому бітові інтервали заповнюються надширококутними імпульсними сигналами двох типів: для передачі відповідних "позитивних" (одичних) та "негативних" (нульових) інтервалів. Подальше підвищення інформативності та надійності зв'язку безпроводових мереж досягається внаслідок реалізації абонентами мережі методів надвисокого стиску-захисту даних без втрат та використання технології надширококутної передачі даних в шумах каналу зв'язку.

Висновки

Реалізація інформаційно-ефективної обробки і передачі даних в комп'ютерних мережах досягається за рахунок встановлення в місцях виникнення інформаційних потоків абонентських (об'єктних) систем, які забезпечують виконання комплексу операцій багатofункціональної обробки, кодування та формування псевдохаотичних криптистійких та завадостійких пакетів даних мінімальної тривалості.

Основою багатofункціональної обробки та кодування даних на об'єктах є оптимальний вибір частоти введення даних та кількості достовірних біт суттєвих відліків огинаючої сигналів (відеосигналів). Оперативне компактне кодування сигналів ґрунтується на основі комбінації адаптивного кодування введених даних з урахуванням інформації про вхідне співвідношення сигнал/шум та динамічних показників поточних ділянок сигналів, а також кодування двійкових даних без втрат. Компактні масиви даних підлягають захисту інформації шляхом гаміювання бітів даних з довготривалими псевдохаотичними послідовностями, які від пакету до пакету є змінними. Зменшення тривалості пакетів даних та їх захист від завад в каналі зв'язку здійснюється в процесі формування інтервально-імпульсних сигналів, які можуть передаватись безпосередньо або у вигляді шумоподібних сигналів з адаптивною базою.

Література

1. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи, 2-е изд.: - М.: - Техносфера, 2006. – 288 с.

2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 1104 с.
3. Ильченко М.Е., Бунин С.Г., Войтер А.П. Сотовые радиосети с коммутацией пакетов. - К.: Наукова думка, 2003. – 266 с.
4. Шевчук Б.М. Теоретичні основи побудови високоінформативних інтелектуальних радіомереж обробки і передачі інформації // Праці міжнар. конф. "Питання оптимізації обчислень (ПОО-ХХІІІ)". – Київ: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. – 2007. – С. 310-311.
5. Боюн В.П. Динамическая теория информации. Основы и приложения. – К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2001. – 326 с.
6. Шевчук Б.М., Задірака В.К., Фраєр С.В. Эффективні методи фільтрації-стиску та захисту інформації в комп'ютерних мережах тривалого моніторингу станів об'єктів// Штучний інтелект. – 2006. - №3. – С. 804-815.
7. Шевчук Б.М., Зінченко В.П. Оперативна багатофункціональна обробка та передача інформації в моніторингових мережах з використанням мікросупутників// Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – 2006. - №6. – С. 30-36.
8. Шевчук Б.М. Складові технології побудови високоінформативних комп'ютерних мереж // Матеріали проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, економіки та моделювання" (ПНМК-2008). – Бучач: Бучачський інститут менеджменту і аудиту, 2008. – С. 44-47.
9. Шевчук Б.М. Методи визначення та відображення показників інформаційних станів об'єктів тривалого моніторингу / Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2005. - № 4. – С. 78-85.

<p>Шевчук Б.М., Гераїмчук М.Д. Математичне та техніко-економічне обґрунтування розробки інформаційно-ефективних об'єктних систем комп'ютерних мереж. Частина 1.</p> <p>Частина 1 статті посвячена теоретичним аспектам математичного обґрунтування розробки інформаційно-ефективних об'єктних систем комп'ютерних мереж. Показано, що основою багатофункціональної обробки та кодування даних на об'єктах є оптимальний вибір частоти введення даних та кількості достовірних біт суттєвих відліків огинаючої сигналів (відеосигналів). Кодування компактних пакетів даних досягається за рахунок адаптивного стиску даних, гаміювання компактних даних з довготривалими псевдохаотичними послідовностями та формування інтервально-імпульсних сигналів мінімальної тривалості.</p>	<p>Shevchuk B.M, Geraimchuk M.D., Mathematical and techno-economical basis of informational-efficient development Of object system design of computer networks. Part 1.</p> <p>Part 1 . Articles devoted the theoretical aspects of mathematical ground of development of the informational-efficient object systems of computer networks.It is shown that by basis of multifunction treatment and encoding of data on objects there is an optimum choice of frequency of entry of data and amount of reliable bats of the substantial counting out of rounding signals (video-signals). Encoding of compact packages of information is arrived at due to the adaptive compression of data, scaling of compact information with the protracted pseudo - chaotic sequences and forming of interval-impulsive signals of minimum duration.</p>
--	---

*Надійшла до редакції
12 лютого 2009 року*