

Ю.П. Жураковський, проф.
Національний технічний університет України "КПІ"

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

Розглядається сучасний стан розвитку засобів інформаційного обміну в системах управління та інформаційно-обчислювальних системах і мережах. Наводяться шляхи підвищення ефективності інформаційного обміну. Розглядаються каскадні способи стиснення при обробці вимірювальної, текстової, графічної та комбінованої інформації, яка є характерною для систем управління. Головна увага приділяється підвищенню достовірності передачі інформації за допомогою введення зворотного зв'язку в системах передачі даних та використання недовійкового кодування повідомлень.

Сучасні системи управління (СУ) та інформаційно-обчислювальні системи (ІОС) базуються на ЕОМ і містять значну кількість джерел та одержувачів інформації, пов'язаних між собою каналами передачі.

Показники ефективності таких систем багато у чому визначаються достовірністю передачі, зберігання та обробки інформації, яка функціонує в системі. Значення достовірності інформаційних процесів в таких системах зростає з погляду на те, що як джерела і одержувачі повідомлень все частіше фігурують автоматичні пристрої і, зокрема, ЕОМ. Особливо актуальною проблема достовірності стає при розробці систем управління, які є сукупністю ЕОМ, засобів автоматизації та каналів зв'язку, тобто систем управління розосередженими об'єктами [1, 2].

У залежності від призначення системи управління та інформаційно-обчислювальної системи і задач, які вони повинні розв'язувати, використовується та чи інша апаратура збору, реєстрації (запам'ятовування) та (або) відображення даних, або обчислювальний пристрій (центральна або керуюча ЕОМ) з периферійним обладнанням, яке забезпечує виведення інформації у формі, необхідній для подальшого використання.

Структурна організація СУ та ІОС багато у чому залежить від того, яким чином проектувальники реалізують умови сумісності у часі функціональних елементів, спрямованих на досягнення необхідної швидкодії системи згідно із дозволеною похибкою розв'язання поставлених задач. Ефективність використання засобів та швидкодії СУ і ІОС суттєво збільшуються при організації децентралізованої багаторівневої обробки даних.

Відмінною особливістю багаторівневих систем у порівнянні з системами з єдиним центром збору та обробки даних є декомпозиція структурних схем та децентралізація обробки даних. Декомпозицію систем здійснюють введенням організаційної ієрархії із закріпленням окремих задач за відповідними вузлами системи.

При такому підході до побудови СУ та ІОС визначення характеристик процесів, що досліджуються, здійснюється у два етапи. На першому виконується збір та попередня (первинна) обробка інформації у реальному масштабі часу спеціалізованими процесорами, а на другому етапі – вторинна обробка інформації, візуалізація та документування результатів досліджень. При цьому спеціалізовані процесори "проріджують" отриману інформацію на вході керуючої ЕОМ системи, в наслідок чого знижуються вимоги до її швидкодії. Попередню обробку виконують, як правило, за найпростішими алгоритмами, але з високою швидкістю. Інтелектуальним ядром системи є універсальна ЕОМ, яка виконує вторинну обробку даних за більш складними алгоритмами. Таке розподілення обчислень еквівалентне стисненню у часі та обсязі даних на вході керуючої ЕОМ і забезпечує ефективну реалізацію умов узгодження у часі елементів СУ та ІОС різної швидкодії, а також умов їх узгодження у просторі. З цієї точки зору, пристрої для первинної обробки інформації є засобами забезпечення узгодження у часі та просторі об'єктів дослідження з керуючою ЕОМ системи.

Економічні та технічні передумови для реалізації багаторівневих СУ та ІОС виникли зі створенням сучасних засобів обробки даних – мікропроцесорів та мікро-ЕОМ. Ясно, що основу СУ та ІОС з децентралізованою обробкою даних повинні скласти інтелектуальні датчики, які

забезпечують перетворення фізичних величин у нормовані сигнали, призначені для введення у керуючу ЕОМ.

Комплексний підхід до підвищення ефективності інформаційного обміну

При визначенні завадостійкості звичайно мається на увазі, що система характеризується абсолютною надійністю апаратури, має ідеальну структуру, працює за безпомилковими алгоритмами та за абсолютної достовірності вхідних даних. При визначенні надійності передбачається, що інформація, яка подається на входи системи і функціонує в ній, абсолютно достовірна. Проектування алгоритмів та структури СУ та ІОС не завжди повною мірою враховує завадостійкість передачі та надійність апаратури, достовірність вхідних даних та помилки людини. Інженерна психологія розглядає помилки людини в системі маючи на увазі, що надійність, завадостійкість, структура та алгоритми системи ідеальні. В дійсності інформація, що надходить на вхід системи, не завжди достовірна. Крім того, у процесі передачі та обробки у самій системі ця інформація спотворюється під дією завад, відмов у роботі апаратури, може бути спотворена із-за алгоритмічних структурних помилок або помилок людини.

Тому, свого часу, при розробці СУ та ІОС, був запропонований комплексний підхід до завадостійкості та надійності. Комплексне дослідження проблеми підвищення ефективності передачі, перетворення та обробки інформації в складних системах доцільно проводити дотримуючись принципів системності, економічності та рівнозначності.

Так, системність передбачає врахування всіх основних причин виникнення помилок в інформації, що видається системою, незалежно від фізичних причин їх виникнення та етапів процесу перетворення інформації, на якому виникли помилки. Принцип системності вимагає також розгляду та порівняння між собою способів та сукупності способів підвищення ефективності.

Економічність передбачає, що способи підвищення ефективності, які використовуються в СУ та ІОС, повинні порівнюватися та відбиратися не тільки за їх внесок у підвищення показника ефективності, але й за витратами, які необхідні для реалізації цих способів.

Виконання вимог рівнозначності дозволяє витрати на підвищення ефективності інформаційного обміну в системі розподілити так, щоб максимально покращити показник достовірності вихідної інформації, але при цьому не завищити деякі характеристики системи, що впливають на ефективність, по відношенню до інших.

Одним з основних показників ефективності інформаційного обміну в СУ та ІОС є достовірність інформації. Причинами зниження достовірності вихідної інформації в СУ та ІОС можуть бути:

- використання недостовірних вхідних даних;
- дії завад при передачі;
- дії завад при перетворенні, збереженні та обробці інформації;
- відмови та збої апаратури;
- структурні та алгоритмічні помилки;
- помилки людини як ланцюга системи управління.

Відносна вага цих причин у загальній кількості помилок може бути різною. Використання комплексного підходу при розробці та проектуванні СУ та ІОС пов'язане з необхідністю вирішення багатьох задач, головними з яких, на наш погляд, є одержання достатньої кількості експериментальних даних зі статистики помилок при дії на систему комплексу причин зниження достовірності та необхідність врахування взаємозв'язку різних способів підвищення достовірності при одночасному їх використанні в системах, що проектуються.

Підвищення завадостійкості передачі інформації в СУ та ІОС і, як наслідок, її достовірності може виконуватися як за рахунок удосконалення каналу передачі інформації (збільшення потужності сигналу, вибір оптимальної форми сигналу, удосконалення приймальних пристроїв з метою зменшення внутрішніх шумів і збільшення відношення сигнал/завада тощо), так і за рахунок використання завадостійкого кодування.

Багатократні експериментальні дослідження [3] показали, що помилки в каналах передачі носять груповий характер. З цього погляду, у багатьох системах передачі та перетворення інформації, що призначені для розв'язання широкого класу задач автоматизації управління,

спотворення одного або декількох елементів кодової комбінації часто призводить до повної або майже повної втрати цінності всієї інформації, що міститься у повідомленні. З огляду на це, важливою задачею є одержання простих розрахункових формул для ймовірності спотворення повідомлення як функції закону розподілення помилок, якщо останній був заданий умовними ймовірностями появи пакетів різної довжини.

Викликає інтерес розгляд резервів підвищення показників ефективності при обміні інформацією в системах з використанням ЕОМ. Ці резерви пов'язані у першу чергу з тим, що тракт передачі інформації розглядається як частина системи "в цілому". Як правило, передача інформації характеризується двома основними якісними показниками: швидкістю та достовірністю передачі.

Однак, не всі помилки, що виникають при передачі, однаково знижують показник ефективності роботи системи. Деякі помилки можуть зовсім не впливати на роботу системи, у той час як інші викликають зупинку роботи системи. Розгляд системи "в цілому" дозволяє намітити шляхи визначення наслідків помилок та більш доцільного використання ресурсів підвищення достовірності передачі.

Комплексний підхід до проблеми достовірності передачі інформації дає можливість не тільки раціонально розподілити надмірність інформації при передачі, але й розв'язати питання використання її для підвищення достовірності надмірності в апаратурі або програмі (якщо для декодування використовується ЕОМ). Для заданої швидкості передачі інформації, ймовірність помилки можна зменшити або шляхом введення значної надмірності в інформацію, або значним збільшенням складності пристроїв (або алгоритмів) кодування та декодування. В останньому випадку в інформацію вводиться порівняно невелика надмірність та виконується кодування великих відрізків інформації.

При використанні у розосереджених СУ та ІОС обчислювальних систем з декількох ЕОМ з обміном інформацією між ними розгляд системи "в цілому" дозволяє виконувати деяке маневрування резервами надмірності в каналах передачі інформації, у машинному часі та пам'яті ЕОМ.

У зв'язку з тим, що помилки при перетворенні та передачі інформації, погіршують якість функціонування системи, методи підвищення достовірності перетворення та обробки інформації повинні розроблятися поряд з методами підвищення достовірності передачі.

Одним з факторів, які визначають достовірність отриманих результатів, є достовірність вхідної інформації. Нагальною є потреба розробки системного підходу щодо підвищення достовірності в складних СУ та ІОС, що забезпечить розумне задання вимог щодо завадостійкості та надійності окремих блоків, вузлів та пристроїв системи та зважене проектування систем за критерієм достовірності вихідної інформації при обмеженнях за такими параметрами, як вартість, вага, час розв'язання задач тощо.

Як відомо, технічну базу СУ та ІОС складають ЕОМ, канали передачі інформації та пристрої збору та відображення інформації.

Важливими характеристиками СУ та ІОС є темп розв'язання задач та дозволені затримки в надходженні сигналів управління. За цими ознаками можна виокремити три типи систем управління:

- системи з темпом розв'язання задач у декілька днів; дозволений час затримки інформації складає години і дні (наприклад, галузеві автоматизовані системи управління (АСУ));
- системи з темпом розв'язання задач у декілька годин чи днів; дозволений час затримки – хвилини та години (наприклад, АСУ підприємством);
- системи з темпом розв'язання задач у декілька секунд чи хвилин; дозволений час затримки – соті та тисячні частки секунди (АСУ технологічними процесами).

Можуть бути СУ та ІОС, які займають проміжне положення. Крім того, слід зазначити, що у одній системі можуть бути задачі з різним темпом розв'язання. Темп розв'язання задач та дозволені затримки накладають обмеження на вибір засобів зв'язку та способів підвищення достовірності інформаційних процесів. Крім того, в складних СУ та ІОС зміна алгоритмів обміну інформацією між об'єктами і вузлами обробки, структури підсистеми та структури інформаційних потоків значно відбивається на показниках якості функціонування системи у цілому.

Однією з основних характеристик технічних систем з передачею та обробкою інформації є їх завадостійкість, тобто властивість системи протидіяти впливу сторонніх збурень (завад).

Іншою важливою характеристикою системи є її надійність, тобто безвідмовність роботи системи за тої чи іншої інтенсивності відмов та збоїв у роботі елементів системи.

В СУ та ІОС можна виокремити такі етапи інформаційних процесів: збір інформації; передача інформації; перезапис інформації з одного носія на інший; зберігання інформації; обробка інформації у відповідності з алгоритмами ЕОМ; відображення та видача інформації.

Вимоги щодо достовірності, які задаються користувачем, можуть бути неоднаковими для різних задач. У цьому випадку доцільно порівняти два вектори: реальних значень (можливості розробника) та бажаних значень (вимоги користувача). Якщо не виконуються вимоги, що задані жорстко, розробнику залишається покращити достовірність (як правило, за рахунок подорожчання системи) розв'язання відповідних задач. У випадку не жорстко заданих вимог можна використати усереднений по задачах критерій з урахуванням важливості різних задач. Коефіцієнти важливості у цьому випадку також повинні бути вказані користувачем.

На етапі збору інформації бере участь людина, використовуються різні пристрої реєстрування інформації. Для розрахунку достовірності на цьому етапі необхідно знати інтенсивність та закони розподілення помилок людини як ланцюга системи: як джерела інформації та як оператора, що вводить інформацію, а також статистику збоїв та відмов у роботі пристроїв реєстрування інформації.

На етапі передачі інформації основні помилки викликані завадами у каналах зв'язку. Важливо провести дослідження впливу помилок на підсумковий показник достовірності в системі. Слід сказати, що однією з причин зниження достовірності при передачі є збої в синхронізації повідомлень [1].

Помилки на етапах збору та перезапису інформації з одного носія на інший поділяють на дві групи: із-за технічної несправності ЕОМ та пов'язані з роботою оператора.

При зберіганні інформації, автоматичному перезаписі з одного носія на другий та обробці інформації основною причиною виникнення помилок є відмови та збої у роботі апаратури.

Обробка первинної інформації

Основний вид інформації про стан об'єкта керування в СУ та ІОС – це поточні значення технологічних параметрів, які перетворюються автоматичними вимірювальними засобами в сигнал вимірювальної інформації. Після приведення до стандартної форми ці сигнали вводяться в керуючі ЕОМ і представляють у них значення відповідних параметрів у даний момент часу.

Однак сформований таким чином масив вихідної інформації не годиться для безпосереднього використання під час розв'язання задач управління, тому потрібна його попередня обробка, яка називається первинною.

До основних завдань первинної обробки інформації в СУ та ІОС можна віднести:

- а) фільтрацію сигналу вимірювальної інформації від випадкової завади (похибки);
- б) відновлення значення вимірюваної величини за сигналом вимірювальної інформації;
- в) корекцію відновлених значень вимірюваної величини з урахуванням відхилення умов вимірювання від номінальних;
- г) відновлення значень вимірюваної величини, тобто екстраполяцію та інтерполяцію.

Водночас різні галузі виробництва відчувають постійно зростаючу потребу у високоточних вимірювальних каналах, що здатні забезпечити одержання потрібної інформації у важких експлуатаційних умовах, при наявності великих збурень, які впливають на вимірювані об'єкти та засоби вимірювання. Останнім часом питанню створення таких вимірювальних каналів приділяється значна увага. Один із підходів при цьому пов'язаний з пошуками нових фізичних принципів побудови вимірювальних каналів, а другий – із застосуванням структурно-часової надмірності під час побудови вимірювальних каналів на базі відомих фізичних принципів, що дозволяє виявляти і коригувати похибки перетворення.

Боротьба з помилками як при перетворенні, так і при передачі, обробці та збереженні інформації базується на введенні інформаційної, алгоритмічної та апаратної надмірностей: застосуванні кодів, що виявляють та виправляють помилки, зменшенні інформаційних потоків шляхом їх стиснення, застосуванні методів структурної перебудови систем передачі, методів функціонального контролю, методів оптимального резервування апаратури тощо.

На даний час в теорії інформації та кодування, теорії передачі сигналів та теорії надійності одержані вагомі результати, які дозволяють проектувати СУ та ІОС з високими показниками ефективності, завадостійкості та надійності.

Будь-яка інформація, яка надходить від датчиків або інших периферійних пристроїв до пунктів збору інформації в СУ та ІОС, як правило, має значну надмірність. Для зменшення навантаження на тракти передачі СУ та ІОС виконують стиснення інформації, для чого останнім часом широко використовують каскадні способи стиснення [4].

Каскадний спосіб поєднує у собі стиснення інформації двома способами. Його відмінність від інших способів полягає у тому, що дані спочатку стискаються одним способом, а потім отриманий стиснутий масив обробляється іншим способом. Розгортання інформації робиться у зворотному порядку.

Правильний вибір способу стиснення для застосування в СУ можна зробити на основі аналізу їх ефективності. Для побудови каскадних способів, як правило, використовуються широко відомі способи стиснення, такі як LZH, LZW, Vitter, матричний [4, 6]. Грунтуючись на їх використанні, можна побудувати такі каскадні способи стиснення: LZW-Vitter, матричний-Vitter, LZH-LZW, Vitter-LZH та матричний-LZW.

При реалізації каскадного способу стиснення може виникнути проблема неоднозначності трактування стиснутого масиву даних. Це може відбутися в тому випадку, якщо алгоритм стиснення першого каскаду в результаті роботи згенерує масив даних, що містить керуючі символи алгоритму другого каскаду. При розгортанні (декомпресії) такого масиву процедура другого каскаду визначає ці символи як ознаки стиснення, і інформація буде перекручена.

Для вирішення цієї проблеми треба передбачити чіткий поділ способу вказівки ознаки стиснення для кожного каскаду, що не дозволяє використання однакових символів.

Для систем, інформація в яких передається в текстовому вигляді, значне скорочення надмірності повідомлень можна одержати при використанні таких каскадних способів як LZH-LZW та Vitter-LZH. Можна сказати, що ці способи текст-орієнтовані і при стисненні дають непоганий коефіцієнт стиснення. При цьому спостерігається явна залежність коефіцієнта стиснення від розміру блока, що стискається. Чим більший блок, тим більший коефіцієнт стиснення.

Для систем, у яких основний інформаційний потік поданий у вигляді графічної інформації, найкращі результати дають каскадні способи Vitter-LZH та LZH-LZW. Для стиснення інформаційного потоку вимірjuвальних даних найкраще підходять способи LZH-LZW та LZW-Vitter, що дають значні коефіцієнти стиснення, особливо це стосується способу LZH-LZW. Також непоганий результат дає використання каскадного способу матричний-LZW.

При стисненні комбінованих даних найбільший коефіцієнт спостерігається у межах від 128 до 2048 байт при стисненні способами LZH-LZW та LZW-Vitter.

Використання зворотного зв'язку для підвищення ефективності передачі інформації

При передачі повідомлень первинним кодом достовірність прийому в основному визначається лінією (каналом) зв'язку і рівнем та типом завад, які діють в ній. Одержана при цьому достовірність дуже часто не задовольняє вимоги користувачів інформації, тому для підвищення достовірності передачі повідомлень, як правило, застосовують спеціальні методи.

Одним з шляхів підвищення достовірності є використання в системах передачі зворотного зв'язку. При цьому поряд з підвищенням достовірності повідомлень досягається також і збільшення ефективності передачі інформації.

Дійсно, якщо в системах передачі інформації без зворотного зв'язку для підвищення достовірності передачі повідомлень потрібно застосувати більш складні коригуючі коди, такі як, наприклад, циклічні коди БЧХ, Файра та ін., що в свою чергу призводить до збільшення довжини кодових комбінацій і, як наслідок, до зменшення швидкості передачі інформації, то в системах передачі із зворотним зв'язком нема потреби використовувати дуже складні коригуючі коди. В таких системах для передачі повідомлень досить користуватися кодами, що виявляють помилки, які мають значно меншу довжину у порівнянні з коригуючими кодами, що виправляють помилки. У випадку виявлення помилки у прийнятій по прямому каналу кодової комбінації в системі передачі із зворотним зв'язком по зворотному каналу подається сигнал

запиту, за яким передавальний пристрій системи повторює передачу інформації по прямому каналу. У зв'язку з цим, передавальний пристрій системи повинен зберігати інформацію про кодові комбінації, що були передані, протягом часу, достатнього для аналізу комбінації приймальним пристроєм і одержання можливого запиту при виявленні помилок.

Кількість повторень залежить від стану каналу зв'язку і звичайно обмежується в залежності від вимог замовника. Зі збільшенням повторень зменшується швидкість передачі інформації, але це помітно тільки при поганому стані каналу зв'язку. Таким чином, ефективність передачі повідомлень в системах із зворотним зв'язком буде залежати як від вибору коду, що виявляє помилки, так і від інтенсивності та виду помилок в каналі зв'язку.

Критерій ефективності методу підвищення достовірності можна визначити за формулою:

$$K_{\text{эф}} = \log_2(a/G), \quad (1)$$

де $a = P_{\text{нк}}/P_{\text{нп}}$ – виграш у захисті від помилок ($P_{\text{нк}}$, $P_{\text{нп}}$ – відповідно ймовірності помилки в повідомленні без надмірності і з надмірністю); $G = G_{\text{ин}} + G_{\text{сх}} = V_c/V_k + \mu C_{\text{нд}}/C_o$ – надмірність ($G_{\text{ин}}$, $G_{\text{сх}}$ – відповідно інформаційна та схемна надмірності); V_c , V_k – відповідно сумарна і корисна (без надмірності) швидкості передачі інформації; μ – ваговий коефіцієнт, що зводить інформаційну і схемну надмірність до еквівалентних техніко-економічних показників; $C_{\text{нд}}$, C_o – відповідно обсяги апаратури передачі інформації з пристроями підвищення достовірності та без пристроїв підвищення достовірності в еквівалентних одиницях).

Для кодів, що виявляють помилки з наступним запитом, інформаційна надмірність [2, 5, 6]:

$$G_{\text{ин}} = (1 + r/k) \cdot (1/1 - P_{\text{нп}}). \quad (2)$$

Другий множник у (2) показує збільшення надмірності за рахунок повторень.

Збільшення основи коду

Питання передачі дискретної інформації в СУ та ІОС і мережах у випадку, коли неможливо або не вигідно, з економічної точки зору, використовувати для підвищення достовірності повідомлень зворотний канал зв'язку, викликають зацікавленість у широкого кола спеціалістів в галузі автоматики, проводового та радіозв'язку. Цій темі присвячена велика кількість статей та монографій. Однак, більшість публікацій присвячена висвітленню систем передачі даних (СПД), в яких як завадостійкі використовуються двійкові коригуючі коди. Це викликано головним чином простотою операцій у двійковій системі числення, які виконуються різними пристроями обчислювальної техніки при обробці, накопиченні та зберіганні інформації в СУ та ІОС і мережах.

Водночас, використання комбінованих видів модуляції в СПД, таких як амплітудна відносна фазова модуляція, квадратурна амплітудна модуляція тощо [1, 2], дозволяє, не ускладнюючи значно технічну реалізацію СПД, набагато підвищити швидкість передачі даних у порівнянні з двійковими системами. У таких СПД логічним для підвищення достовірності передачі повідомлень та ефективності функціонування СПД по каналах із завадами є використання завадостійких кодів з алфавітом $q > 2$, які, подібно до двійкових, дозволяють виявляти та виправляти помилки при передачі, але вже у межах недвійкової символіки. Такі коди одержали назву недвійкових (багатопозиційних, багатоосновних або q -тих) [2]. Не дивлячись на те, що деякі надмірні невійкові коди, такі як узагальнений код Хеммінга, код Ріда–Соломона та інші, одержали досить широке застосування в СПД [2, 5], питання розвитку теорії недвійкового кодування залишаються досить актуальними.

Слід зазначити, що кратність помилок, що виправляються недвійковими кодами, вища у порівнянні з двійковими через те, що виправлення одного елемента q -коду відповідає виправленню $\log_2 q$ двійкових одиниць.

Зазначимо, що недвійкові коди прийнято ділити на дві великі групи: коди з простою основою $q = p$, де $p \in \{3, 5, 7, 11, 13, \dots\}$, і коди з основою q , що розкладається. Найбільший практичний інтерес має тільки окремий випадок таких кодів при $q = 2^h$, символи якого мають інформаційну ємність h біт і можуть бути співставлені з усіма h -розрядними двійковими числами. Вибір q впливає на визначення операцій додавання, віднімання, множення та ділення, які використовуються у процедурах кодування та декодування. Якщо основа – просте число, зручно використати апарат обчислень за модулем простого числа. Якщо ж $q = 2^h$, то необхідно звернутися до алгебраїчного апарату обчислень за модулем незвідного полінома. Символи коду при цьому ставлять у відповідність елементам скінченного поля порядку q .

Прийняті в теорії кодування показники якості зводяться до трьох тверджень, які правлять за критерії ефективності завадостійких кодів:

- серед кодів з однакою довжиною n та мінімальною кодовою відстанню d_{min} найкращі коди мають найбільшу довжину інформаційної частки блоку;
- серед кодів з однакою довжиною n та кількістю інформаційних елементів k найкращі коди мають найбільшу мінімальну кодову відстань d_{min} ;
- серед кодів з однаковими k та d_{min} найкращі коди мають найменшу довжину блоку n .

Відповідно до першого твердження, у кращому коді ефективніше використовується коригуючий потенціал d_{min} , який захищає більшу кількість k інформаційних елементів в блоці, аніж в іншому коді. Під коригуючим потенціалом будемо розуміти коригуючу спроможність коду, яка визначається показником d_{min} , а втілюється у кількість V_{en} спотворених елементів у блоці, які можуть бути виправлені даним кодом. Причому $d_{min} \geq 2V_{en} + 1$ [2, 5, 6].

Відповідно до другого твердження, кращий код має більший коригуючий потенціал d_{min} , що дає змогу йому виправляти більшу кількість V_{en} спотворених елементів у кодовому блоці.

Відповідно до третього твердження, кращий код має меншу кількість r надлишкових елементів у блоці ($r = n - k$) і меншу надмірність r/n .

Оскільки наведені твердження мають справу з трьома параметрами коду n , k та d_{min} , сформулюємо їх у термінах відносних вимірів, що дасть змогу, замаскувавши один з параметрів, проводити наступне співставлення кодів в площинній формі двох вимірів.

Для цього поділимо k та d_{min} на довжину блоку n , одержавши відому нам швидкість коду $R = k/n$ та відносну кодову відстань d_{min}/n .

Додамо до визначення останньої коефіцієнт S для проведення аналізу у єдиних з відомими джерелами вимірах. Останній крок має на увазі функціональну залежність $d_{min} = 2V_{en} + 1$, звідки випливає, що $V_{en} = (d_{min} - 1)/2$. У відносному вимірі V_{en}/n для досить великих n маємо:

$$V_{en}/n = (d_{min} - 1)/2n \approx d_{min}/2n. \quad (3)$$

Таким чином, наступний розгляд зводиться до двох вимірів $R = k/n$ та $V_{en}/n \approx d_{min}/2n$. Відтак, наведені вище твердження відповідно можуть бути викладені наступним чином:

- серед кодів з однакою відносною кодовою відстанню $d_{min}/2n = const$ кращим є код з більшою швидкістю R ;
- серед кодів з однакою швидкістю $R = k/n = const$ кращим є код з більшим $d_{min}/2n$;
- серед кодів з однаковими k та d_{min} кращим є код з більшими $R = k/n$ та $d_{min}/2n$.

З недвійкових кодів, що виявляють помилки, широке використання одержали: код з перевіркою за $mod q$, код з простим повторенням та незвідні змінно-позиційні коди з елементами однієї та різної ваги; з кодів, що виправляють однократні помилки: код з багатократним повторенням, код з повторенням та перевіркою за $mod q$, ітеративний код, узагальнений систематичний блоковий код та узагальнений код Хеммінга; з кодів, що виправляють пакети помилок та помилки кратності $V_{en} \geq 2$: код Ріда-Соломона та недвійковий ланцюговий код.

Висновки

Сучасні системи управління та інформаційно-обчислювальні системи базуються на ЕОМ і містять значну кількість джерел та одержувачів інформації, пов'язаних між собою каналами передачі.

Показники ефективності таких систем багато у чому визначаються достовірністю передачі, зберігання та обробки інформації в системі. Значення ефективності інформаційних процесів у таких системах зростає з погляду на те, що у як джерела і одержувачі повідомлень все частіше фігурують автоматичні пристрої і, зокрема, ЕОМ.

Основний вид інформації про стан об'єкта керування в СУ та ІОС – це поточні значення технологічних параметрів, які перетворюються автоматичними вимірювальними засобами в сигнал вимірювальної інформації.

При розробці СУ та ІОС, свого часу, був запропонований комплексний підхід до підвищення завадостійкості та надійності. Комплексне дослідження проблеми підвищення достовірності передачі, перетворення та обробки інформації в складних системах доцільно проводити дотримуючись принципів системності, економічності, рівнозначності.

До основних завдань первинної обробки інформації в СУ та ІОС можна віднести: фільтрацію сигналу вимірювальної інформації від випадкової завади (похибки); відновлення значення вимірюваної величини за сигналом вимірювальної інформації; корекцію відновлених значень вимірюваної величини з урахуванням відхилення умов вимірювання від номінальних; відновлення значень вимірюваної величини, тобто екстраполяцію та інтерполяцію.

Будь-яка інформація, яка надходить від датчиків або інших периферійних пристроїв до пунктів збору інформації в СУ та ІОС, як правило, має значну надмірність. Для зменшення навантаження на тракти передачі СУ та ІОС виконують стиснення інформації, для чого останнім часом широко використовуються каскадні способи стиснення.

Одним з шляхів підвищення достовірності є використання в системах передачі зворотного зв'язку. При цьому, поряд з підвищенням достовірності повідомлень, досягається також і збільшення ефективності передачі інформації.

Використання комбінованих видів модуляції в СПД, таких як амплітудна відносна фазова модуляція, квадратурна амплітудна модуляція тощо, дозволяє, не ускладнюючи значно технічну реалізацію СПД, набагато підвищити швидкість передачі даних у порівнянні з двійковими системами. У таких СПД логічним для підвищення достовірності передачі повідомлень та ефективності функціонування СПД по каналах із завадами є використання завадостійких кодів з алфавітом $q > 2$, які, подібно до двійкових, дозволяють виявляти та виправляти помилки при передачі, але вже у межах недвійкової символіки. Такі коди одержали назву недвійкових (багатопозиційних, багатоосновних або q -тих). Не дивлячись на те, що деякі надмірні невійкові коди, такі як узагальнений код Хеммінга, код Ріда-Соломона та інші, одержали досить широке застосування в СПД, питання розвитку теорії недвійкового кодування залишаються досить актуальними.

Слід зазначити, що кратність помилок, що виправляються недвійковими кодами, вища у порівнянні з двійковими через те, що виправлення одного елемента q -коду відповідає виправленню $\log_2 q$ двійкових одиниць.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Игнатов В.А.* Теория информации и передачи сигналов. – М.: Радио и связь. – 280 с.
2. *Жураковский Ю.П.* Передача информации в ГАП. – К.: Вища шк., 1991. – 216 с.
3. Элементы теории передачи дискретной информации / Л.М. Пуртов, А.С. Замрий, А.И. Захаров, В.М. Охорзин; Под. ред. Л.П. Пуртова. – М.: Связь, 1972. – 232 с.
4. *Чернега В.С.* Сжатие информации в компьютерных сетях. – Севастополь: СевГТУ, 1997. – 214 с.
5. Кодирование информации (двоичные коды): Справочник / Н.Т. Березюк, А.Г. Андрущенко, С.С. Мощицкий и др. – Харьков: Вища шк., 1978. – 252 с.
6. *Цымбал В.П.* Теория информации и кодирование. – К.: Вища шк., 1992. – 263 с.
7. *Ziv J., Hershkovitz Y.* Another Look at Universal Data Compression // Proc. IEEE Int. Sympos. on Information Theory. – Trondheim, Norway, 1994, p. 11.

ЖУРАКОВСЬКИЙ Юрій Павлович – професор кафедри автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:

- теорія інформації та кодування;
- передача та обробка інформації;
- елементи та пристрої систем управління.

Подано 16.12.1999.