

ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 621.372

ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ

© Орест Івахів, 2000

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра “Інформаційно-вимірювальна техніка”,
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Під час проектування багатоканальних вимірювальних систем як для опрацювання структури системи, так і для оформлення окремих підсистем у вигляді програмного пакета пропонується використовувати імітаційне моделювання.

При проектировании многоканальных измерительных систем как для обкатывания структуры системы, так и при оформлении отдельных подсистем в виде программного пакета предлагается использовать имитационное моделирование

The multiplex system structure testing or some subsystems program packet realization simulation is proposed in this paper.

Вступ

Вимірювальна система чи не основна інформаційна ланка в контурі керування об'єктом дослідження, що здійснює збирання, опрацювання та передавання інформації про об'єкт керування. Здійснення заходів щодо безпеки персоналу, надійності функціонування об'єкта, відсутність достатньо повних апріорних відомостей про зовнішні впливові фактори, необхідність якомога повнішої ефективності здійснюваних досліджень та окупності вкладених коштів висуває вимоги дедалі більшої гнучкості в роботі системи. Коштовність вимірювальних систем наближається до коштовності контрольованої апаратури. Й хоча сьогодні можна здійснити близько 100 млн. вимірювань за секунду, проте практично вдається використати лише (5...10)% даних, одержаних від вимірювальної системи [1]. Потреба в опрацюванні значної частини вимірювальної інформації безпосередньо поблизу її місця появи накладає на систему ряд обмежень, пов'язаних із жорстким обмеженням енергетичних ресурсів, обсягів запам'ятовувальних та реєструючих засобів, потужностей обчислювальних алгоритмів, маси та габаритів використовуваної апаратури.

Перелічені фактори зумовлюють потребу підвищення автономності системи інформаційного забезпечення, висувають принципово нові вимоги щодо організації оперативного, раціонального та цілеспря-

мованого збирання, опрацювання та обміну значних і неперервно наростаючих масивів інформації, оперативного оцінювання стану об'єкта дослідження, керування вимірювальним експериментом. Ці тенденції задовольняють вимірювально-обчислювальні комплекси, оснащені однією або кількома спеціалізованими чи універсальними машинами, які можуть контактувати з віддаленими абонентами вимірювально-обчислювальної мережі.

Ускладнення обслуговуваних об'єктів, а отже, й поставлених перед багатоканальними системами завдань, підвищення вимог до ефективності їх функціонування водночас ускладнює і проектування систем, а іноді й виключає застосування аналітичних методів. Одним із основних етапів проектування є системотехнічний, на якому здійснюється вибір структури системи, визначення набору підсистем, їх параметрів та способів взаємодії, при цьому визначається і структура процесів, що відбуваються в системі та їх кількісні характеристики [2]. Розв'язуючи завдання даного етапу проектування, використовують методи математичного моделювання [3], серед яких чи не найефективніший – метод імітаційного моделювання на ЕОМ [4 – 6]. Обмежені ж можливості сучасного математичного апарату й складність одержуваних аналітичних моделей багатоканальних систем є причиною того, що іміта-

ційне моделювання – чи не єдиний спосіб розв'язання даної задачі. Воно дає змогу:

- відмовитися від спрощення алгоритмів функціонування підсистем та пристроїв, виду та характеру вхідних сигналів вимірювальної інформації, тобто забезпечує можливість створення адекватної математичної моделі системи;

- використати універсальні імітаційні моделі підсистем під час дослідження та проектування багатоканальних вимірювальних систем різних класів та різноманітного призначення, що скорочує витрати на впровадження математичного забезпечення, налагодження програми тощо ;

- відпрацювати програмне виконання окремих модулів системи як для їх дослідження, так і автоматизувати сам процес дослідження – як передумову до автоматизованого проектування багатоканальної системи;

- відійти від кошового натурального (тобто фізичного) випробування новостворюваної техніки до модельного, автоматизувати і сам процес проектування, замінити апаратне виконання деяких процедур опрацювання вимірювальної інформації програмним.

Проаналізуємо можливості сучасних інформаційних технологій та їх використання під час проектування вимірювальних систем.

Вибір методики побудови системи

Можливості сучасної обчислювальної техніки та надзвичайно потужний розвиток програмового забезпечення ініціювали появу нових технологій автоматизованого виготовлення основної функційної інтелектуальної продукції [7,8], її проектування та конструювання [9,10], розпізнавання образів, прийняття рішень тощо, що є підсистемами систем виробництва інтелектуальних функцій. Отже, поряд з відомими традиційно сформованими конкретними інтелектуальними науками, такими, як метрологія та прикладна математика [11], а в технічних застосуваннях – системотехніка та дослідження операцій [12,13] почала формуватися системна наука – усвідматика. Ця наука покликана автоматизувати інтелектуальні (усвідматичні) функції, а саме: прогнозування – проектування та конструювання; алгоритмізування – підготовки дій; розпізнавання образів; моделювання; одержання та накопичення досвіду й знань – наукові дослідження,

створення та реорганізування функційних систем, керування процесами, прийняття рішень тощо [14].

Завдяки тому, що в кожній конкретній інтелектуальній науці закономірності, що входять в її ядро, відкривають можливість формування математичних моделей, які фізично моделюються технічними засобами обчислювальної техніки, розвиток інтелектуальних наук надає можливість створення наукових методів формування структур інтелектуальних об'єктів як засобів для автоматизування виробництва інтелектуальної продукції. Інтелектуальні науки спрямовані на автоматизування інтелектуальних функцій, що проявляються своїми певними закономірностями. А саме: встановлено об'єктивну структурну закономірність – закономірність усвідматичного виробництва, що визначає алгоритми цілеспрямованої усвідматичної дії, створення основної функційної продукції в суперсистемі усвідматичного виробництва. Цю закономірність було конкретизовано та уточнено, одержано її символічний опис й встановлено підпорядкованість узагальнюючій закономірності структур Павлова-Анохіна-Колеснікова[15].

Це створює передумови для визначення характеристик конкретної наукової структури інтелектуальних наук на підставі знання загальної структури та функційних усвідматичних закономірностей на всіх фіксованих рівнях розчленування, характеристик таблиць істинності на всіх рівнях, відбитих в закономірностях моделей теорії системного підходу [16].

Дедалі ширше під час проектування систем використовуються сучасні технології проектування – теорія нейронних мереж[17-20], розмитих множин[21] та експертних систем[22-25].

Сучасна система, вимірювально-інформаційний комплекс чи мережа повинні оптимізувати свій алгоритм роботи, зокрема програми опитування, набір джерел відповідно до поточної ситуації на об'єкті дослідження. Найчастіше цільовою функцією служить необхідна швидкість передавання двійкових символів цифрової системи й ставиться завдання мінімізування вимог до пропускну здатності каналів зв'язку.

Враховуючи реальну кускову стаціонарність досліджуваних процесів, можливо спростити створення набору програм, пристосованих до різних кореляційних зв'язків досліджуваних процесів, мінімізуючи середній ризик при застосуванні квадратичної функції втрат (штрафів), яка дозволяє мінімізувати дисперсію похибки відновлення неперервних функцій. Зокрема,

можна формувати програми опитування, застосовуючи методику динамічного програмування [26]. Така ідеологія побудови систем пропагувалася в космічній техніці ще в 70-х роках. В цих програмованих вимірювальних системах використовувалось декілька децентралізованих локальних комутаторів, розташованих поблизу джерел вимірювальної інформації, частота опитування яких змінювалась відповідно до скінченної множини програм, записаних в пам'яті системи. Зміна програм (кількості та набору обслуговуваних джерел, швидкостей їх опитування) як за командами із Землі, так і за сигналами бортових систем дозволяла частинно адаптувати систему до зміни умов функціонування, які визначалися зміною пропускної здатності каналу зв'язку [27-32]. Гнучка зміна роботи системи забезпечувалась магістрально-модульним принципом побудови, при якому окремі функційні модулі мали перехресні зв'язки між собою через інформаційну магістраль.

Результати вивчення можливостей оцінювання стану об'єкта загалом на підставі результатів вимірювання, одержаних системою, дозволяють зробити наступні кроки щодо створення інтелектуалізованої системи [33-36]. Така система може ефективно формувати програму опитування сукупності джерел, що працюють в умовах інтервально-стаціонарної апріорної невизначеності, зокрема об'єктів автономного існування. Вона дозволяє на підставі одержаної та впорядкованої вимірювальної інформації оцінити можливі наслідки кожної з альтернатив, порівняти їх та вибрати найкращу з них для даної ситуації, порівнюючи на наступних кроках вже відомий результат дії з очікуваним. Так побудована система [36], що складається з підсистем набірної статистики щодо активності джерел вимірювальної інформації, формування програми опитування, відстежування поточного інформаційного стану об'єкта дослідження. Зокрема, підсистема оцінювання активностей базується на засадах пристроїв компресування вимірювальних даних [37]. Саме тому доцільно дослідити методами імітаційного моделювання як структури адаптивного обслуговування сукупності джерел вимірювальної інформації, так і окремі підсистеми інтелектуалізованої системи [38].

Імітаційне дослідження

Для дослідження багатоканальної вимірювально-інформаційної системи необхідно створити:

- моделі підсистем для вивчення їх характеристик, що забезпечували б вдале проектування й, можливо, їх програмове виконання;

- додаткові сервісні блоки імітаційної моделі для вивчення роботи підсистем вимірювальної системи, а саме: імітатори сукупності джерел вимірювальної інформації та блока опрацювання експериментальних даних.

Імітаційне моделювання багатоканальної вимірювальної системи, як і будь-якої іншої складної системи, охоплює ряд етапів:

- формулювання проблеми;
- складання програми для ЕОМ;
- оцінювання адекватності та придатності моделі;
- планування експериментів;
- здійснення та опрацювання результатів експерименту.

Оскільки багатоканальна вимірювальна система технічно характеризується наявністю різних за функційним призначенням та принципом дії підсистем; наявністю набору показників якості, що описують як ефективність окремих підсистем, так і багатоканальної системи загалом. Звідси й особливості задач моделювання системи:

- необхідність багаторівневого деталізування при формальному описуванні та опрацюванні математичної моделі системи, послідовне дослідження системи на різних рівнях деталізування математичної моделі;

- застосування імітаційних моделей підсистем багатоканальної системи, оскільки моделювання системи загалом обмежене внаслідок значних витрат машинного часу;

- користування різним математичним апаратом під час опрацювання математичних моделей підсистем та систем загалом при оцінюванні різних показників якості системи;

- значна кількість початкових даних, необхідних для експериментальних досліджень;

- значний обсяг вихідних документів моделювання;

- значна розмірність оптимізаційних задач та вибору параметрів підсистем і системи загалом при роботі з імітаційними моделями.

Перелічені особливості цих задач вказують на необхідність першочергового опрацювання моделей підсистем, як передумови автоматизованого проектування

системи й відпрацювання алгоритмів інтелектуалізованої системи, що охоплюватиме ряд аналізованих функційних модулів.

Імітаційна модель передавальної частини системи охоплює моделі: підсистем збирання та початкового опрацювання вимірювальної інформації (комутатор, блок усунення статичної та смислової надмірності) та формування групового сигналу (буферний запам'ятовувальний пристрій – при дослідженні адаптивних систем з поліноміальними прогнозерами та формувач кадрів). Ця модель дозволяє дослідити характеристики системи в умовах, максимально наближених до реальних фізичних процесів, що відтворюються в системі.

Моделювання сукупності джерел

Ця модель створена як окремий модуль, що працює поза часовими залежностями імітаційної моделі. Вибіркові значення джерел формуються заздалегідь й накопичуються в масиві пам'яті ЕОМ у вигляді пар "адреса – інформація". Тому звертання до джерела здійснюється як звертання до певної комірки пам'яті, й модель джерел вимірювальної інформації на часові характеристики системи практично не впливає. Математичною моделлю вимірювальних сигналів джерел вибрано кусково-стаціонарні випадкові процеси з різними кореляційними функціями. Для їх моделювання використано метод ковзаючого підсумовування та програми формування випадкових чисел в ЕОМ [39]. Основний клас реальних процесів здебільшого описується коваріаційними функціями вигляду:

$$\begin{aligned} k(\tau) &= \sigma^2 \cdot e^{-\alpha/\tau}, \\ k(\tau) &= \sigma^2 \cdot e^{-\alpha/\tau} (1 + \alpha/\tau), \\ k(\tau) &= \sigma^2 \cdot e^{-\alpha/\tau} \cos \beta\tau, \end{aligned} \quad (1)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення; α, β – параметри коваріаційної функції.

Випадковий процес моделюється у вигляді:

$$X(T) = A1 \cdot X2 + A2 \cdot X1 + A3 \cdot V1 + A4 \cdot V2, \quad (2)$$

де $A1, A2, A3, A4$ – коефіцієнти, що обчислюють за значеннями параметрів кореляційної функції, а саме: за дисперсією процесу, центральною частотою та шириною його спектра, кроком дискретизування в часі, відповідно; $V1, V2$ – попередні значення формованого процесу; $X1, X2$ – псевдовипадкові числа.

Це рівняння віддзеркалює поведінку певного дискретного лінійного фільтра, що перетворює дискретні значення білої завади у випадковий процес $X(T)$. Передавальна функція такого фільтра описується поліномом, коефіцієнти якого визначаються параметрами кореляційної функції, а отже, однозначно задають спектральні характеристики фільтра.

Імітуються вибіркові значення джерел аналогової інформації в дискретні моменти часу, які вибираються за теоремою Найквіста – Котельнікова, виходячи з частотних властивостей реальних джерел, здебільшого розподілених у приблизно рівноактивні групи.

Задачі моделювання полягають в одержуванні дискретизованих (вибіркових) значень процесів, що відповідають даному типові коваріаційної функції із заданими значеннями її параметрів.

Моделювання процедур приготування вибіркових значень

Вивчаючи цю процедуру, необхідно:

- дослідити точність відновлення даних джерела вимірювальної інформації на виході підсистеми;
- дослідити характеристики потоку ненадлишкових відліків на виході пристроїв компресування (прогнозера нульового порядку та адаптивного комутатора), зокрема інтенсивності потоку залежно від інформаційної активності джерела та його частотних властивостей, від параметрів пристрою компресування;
- забезпечити можливість вибирання дисципліни обслуговування в даній підсистемі;
- здійснювати встановлення основних параметрів підсистеми (такту опитування джерел комутатором, кількість розрядів АЦП, апертуру прогнозування), що забезпечують задані показники якості роботи пристрою компресування;
- дослідити характеристики буферного запам'ятовувального пристрою, а саме: ймовірність втрат й неробочих ходів як функції від інформаційної активності та частотних властивостей джерел, а також від параметрів запам'ятовувального пристрою (під інформаційною активністю групи розуміємо добуток максимальної частоти у спектрі процесу, що належить джерелам групи, на кількість джерел в групі, під загальною активністю розуміємо суму активностей окремих груп джерел).

Щоб розв'язувати перелічені задачі, необхідно їх формалізувати, опрацювати математичну модель та програми імітування (симулювання) цієї підсистеми [2].

Імітаційна модель комутатора описує порядок опитування джерел в часі відповідно до однієї із заданих дисциплін обслуговування: циклічної, асинхронно-циклічної та пріоритетної [40]. Параметром моделі є період опитування i -го джерела, тобто тривалість інтервалу часу між моментами під'єднання комутатора до виходу i -го джерела. Внаслідок такого опитування формується повідомлення, що складається з адресної та інформаційної частин (тобто адреса й вибіркове значення i -го вимірювального сигналу), а також часові позначки щодо моменту появи вибірки.

Циклічне опитування здійснюється з інтервалом, погодженим з попередньо відомою максимальною частотою в спектрі j -ї групи рівноактивних джерел сукупності

$$F_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{NG} F_j \cdot kG_j, \quad (3)$$

де F_j та kG_j – максимальна частота й кількість джерел j -ї групи, відповідно; NG – кількість груп серед сукупності джерел.

При звичайній циклічній дисципліні обслуговування розмаїття частотних властивостей груп спричиняє значну надмірність одержуваної інформації. Тому доцільніше організувати опитування джерел за програмою, краще погодженою з частотними властивостями джерел в групі, а саме: кожна з груп буде опитуватися відповідно до своєї інформативності. В моделі така можливість забезпечується завдяки введенню коефіцієнта кратності $KR(J)$, який враховує відносно сумарну частоту опитування даної j -ї групи, а саме:

$$KR(J) = F_j \cdot kG_j / F_{\Sigma}. \quad (4)$$

Статистичне зменшення надмірності здійснюється за алгоритмом прогнозуєра нульового порядку (ПНП) або адаптивного комутування [41]. В першому випадку поточний відлік джерела після комутатора надходить в модель буферного запам'ятовувального пристрою (БЗП) підсистеми ущільнення каналів і братиме участь у формуванні групового сигналу (кадру) лише тоді, коли поточна похибка прогнозування досягає встановленого допустимого значення – аперттуру прогнозування, яка визначається вимогами до точності відновлення. Основною характеристикою ПНП, потрібною під час розрахунку системи, є

інтенсивність потоку ненадлишкових відліків на його виході та коефіцієнт компресування.

Інтенсивність оцінюють як відношення кількості ненадлишкових (суттєвих) вибіркових значень на виході пристрою зменшення надмірності до тривалості аналізування. Значення інтенсивності залежить від параметрів ПНП та характеристик досліджуваного випадкового процесу [40], а саме:

$$\lambda = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \omega^* \cdot \sigma_i / \Delta, \quad (5)$$

де Δ – аперттура прогнозування ПНП; σ_i та ω^* – середньоквадратичні відхилення та частота відповідно.

Коефіцієнт компресування – це відношення кількості вибіркових значень на виході ПНП до їх кількості на виході.

У другому випадку в першій тактовий момент запам'ятовуються вибірккові значення від кожного з джерел сукупності, в наступний момент оцінюється, наскільки змінилися сусідні значення одного й того самого джерела, серед пронормованих за середньоквадратичним відхиленням приростів визначається найбільший. Це поточне вибірккове значення вважається суттєвим (ненадлишковим), а джерело, якому воно належить, визнається найактивнішим в даний тактовий момент. В наступні тактові моменти оцінюються та нормуються прирости між поточними та попередніми суттєвими вибірковими значеннями в кожному з джерел та визначається найбільше з них серед усіх джерел сукупності.

За результатами досліджень пристроїв компресування вимірювальної інформації оцінюється кількість проявів активностей кожного з джерел сукупності.

Моделювання процесу формування групового сигналу

Підсистема формування та кодування групового сигналу цифрової багатоканальної системи із зменшенням надмірності (тобто адаптивного обслуговування з ПНП) служить для погодження випадкового потоку відліків, що надходять від окремих i -х пристроїв компресування, із синхронним каналом зв'язку (із системою запам'ятовування інформації), або ж підбирання вибіркових значень відповідно до циклічної (попередньо чи поточно сформованої в інтелектуалізованій системі) програми.

Погодження полягає в перетворенні випадкових потоків вибірових значень від сукупності джерел на вході підсистеми в регулярні повідомлення (кадри) на її виході. При формалізуванні алгоритмів роботи та опрацювання математичних моделей аналізованих підсистем використовуємо апарат теорії масового обслуговування [42,43].

Вирівнювання забезпечуються буферним запам'ятовувальним пристроєм, в якому відліки можуть "очікувати" своєї черги на виведення в лінію зв'язку чи підсистему запам'ятовування інформації. Якщо в якийсь із моментів буфер виявиться "порожнім", тоді має місце неробочий хід, якщо переповнений – тоді втрата відліку.

Дослідження підсистеми на системотехнічному етапі проектування полягає :

- у вибиранні та обґрунтуванні дисципліни опитування буферної пам'яті ;

- у вибиранні основних параметрів підсистеми : обсягів пам'яті буфера, пропускну здатності каналів зв'язку, структури та параметрів групового сигналу, що забезпечують заданий рівень втрат та затримок в буферній пам'яті;

- у опитуванні параметрів підсистеми при заданому показнику ефективності, обмеженнях та вибраній дисципліні обслуговування.

В кожен i -й буферний запам'ятовувальний пристрій, що має обмежену ємність, від відповідних пристроїв компресування надходять потоки ненадлишкових відліків, деякі з яких втрачаються при наявності переповнень пам'яті .

Пристрій адаптивного обслуговування відповідно до заданої програми опитування здійснює пакетне виведення повідомлень з буфера, формує груповий сигнал від сукупності джерел та забезпечує подання сформованих пакетів до пристрою кодування. Алгоритм роботи буфера визначається його дисципліною обслуговування, що задає правило виведення повідомлень з нього. Розрізняють такі дисципліни: "перший зайшов – перший вийшов"; випадкове вибирання повідомлень ; пріоритетне виведення .

У зв'язку з можливими втратами вибірових значень та неробочими ходами в буфері оцінюють:

- ймовірності втрат (як відношення кількості

втрачених вибірових значень до кількості вибірових значень, що надійшли на вхід буфера) ;

- ймовірність неробочих ходів (як відношення кількості "порожніх" виведень до загальної кількості вибірових значень на вході буфера).

Модель цієї підсистеми формує кадри з вибірових значень, що переходять з підсистеми "джерело інформації" (при циклічній дисципліні обслуговування), або з випадкового потоку ненадлишкових вибірових значень, що вибираються з буферів (при адаптивній, пріоритетній або асинхронно-циклічній дисципліні).

Працюючи з потоком вибірових значень вимірювальної інформації, необхідно здійснювати їх адресування індивідуальним чи груповим методом. В першому випадку адресна частина повідомлення супроводжує своє вибірове значення, у другому – маркуванням групи вибірових значень від різних джерел вказується їх розташування .

Щоб здійснити часове погодження, необхідно користуватись комбінованими методами, оскільки різні джерела щодо цього ставлять різні вимоги. Переважно вибирають певну шкалу часових позначок для основної групи джерел, а для тих джерел, що мають вищі вимоги, застосовують додаткове кодування моментів появи відліків .

Висновки

Результати імітаційного моделювання окремих функційних модулів багатоканальної вимірювальної системи вказують на можливість гнучкого опрацювання цих модулів та доцільність проектування інтелектуалізованої системи, відкривають перспективи створення відповідних програмованих пакетів окремих підсистем вимірювальної системи. З окремих модулів імітаційної моделі можна сформувати звичайну систему – циклічну чи адаптивну, програмовану – із жорсткою чи гнучкою зміною програм опитування, а також інтелектуалізовану систему. Якщо при дослідженні системи допускаються режими роботи окремих модулів поза реальним часом, з певними часовими затримками, деяка часова непогодженість між роботою окремих модулів, то при втіленні опрацьованих принципів побудови в реальній фізично діючій системі вимагає функціонування в реальному часі.

1. Переверткин С.М., Кантор А.В., Бородин Н.Ф., Щербакова Т.С. Бортовая телеметрическая аппаратура космических летательных аппаратов. Сбор и обработка данных на борту космического аппарата. М., 1977.
2. Карлов А.А., Калашников И.Д., Комов В.А. Моделирование многоканальных систем передачи информации. М., 1984.
3. Гуткин Л.С. Современная радиоэлектроника и ее проблемы. М., 1980.
4. Nalepa J.: Zastosowanie Symulacji Komputerowej w Projektowaniu Systemów Pomiarowych // Materiały Krajowego Kongresu Metrologii "Nowe wyzwania i wizje metrologii, Gdansk '98". P. 175-181, 15-18.09. 1998.
5. Вельган Р., Віблий Р., Івахів О. Моделювання систем при проектуванні // Міжнародна НТК "Сучасні проблеми засобів телекомунікації, комп'ютерної інженерії та підготовки спеціалістів", ТСЕТ '98 23-28.02.98 р. Львів. С 72.
6. Szyper M. Badania modelowe systemów pomiarowych // Pomiar. Automatyka. Kontrola. 2000. №9. S.12-16.
7. Колесников Л. А. Естественнаучное в автоматизации интеллектуального труда // Теория автоматизированного проектирования. 1984. Вып. 5 С. 21-36.
8. Колесников Л. А. Естественнаучная ветвь технологии. // Теория автоматизированного проектирования. 1984. Вып. 5. С. 3-21.
9. Колесников Л. А. Системы создания инженерной продукции и автоматизированное проектирование (САПР) // Теория автоматизированного проектирования. 1979. Вып. 1. С. 3-29.
10. Колесников Л. А., Бутенко В. Ю., Жданов В. В. и др. Усвидматическая теория САПР (Научно-теоретическое обеспечение автоматизированных интеллектуальных систем // Теория автоматизированного проектирования. 1980. Вып. 2. С. 25-32.
11. Блехман И. И., Мышкин А. Д., Пановко Я. Г. Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов. К., 1976.
12. Макол Р.Е. Методология системотехники // Справочник по системотехнике: Пер. с англ. / Под ред. Р. Е. Макола. М., 1970. С. 9-17.
13. Грекова И. Методологические особенности прикладной математики на современном этапе ее развития. // Вопросы философии. 1976. №6. С. 104-114.
14. Колесников Л. А. Усвидматика подсистема систем фундаментальных наук // Теория автоматизированного проектирования. 1980. Вып. 2. С. 3-24.
15. Колесников Л. А. Основы теории системного подхода. К., 1988.
16. Колесников Л. А. Естественнаучное в автоматизации интеллектуального труда // Теория автоматизированного проектирования. 1984. Вып. 5. С. 21-36.
17. Grman J. Neural Network Application in the Defectoscopy // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, Vol.IX, topic 30 Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Sept.25-28, 2000, Vienna, Austria. P.205-210.
18. Kotani M., Akazawa K., Ozawa S., Matsumoto H. Detection of Leakage Sound by Using Modular Neural Networks // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, vol.IX, topic 30 Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Sept.25-28, 2000, Vienna, Austria. P.347- 352.
19. Postolache O., Pereira M.D., Girao P., Cretu M., Fosalaу C. Application of Neural Structures in Water Quality Measurements // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, Vol.IX, topic 30 Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Sept.25-28, 2000, Vienna, Austria. P.353-358.
20. Загоруйко Л.В., Тимченко Л.І. Семантичний підхід до створення просторових нейронних мереж // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 1999. №1. С.23-29.
21. Zadeh L.A. From Computing with Numbers to Computing with Words from Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, Vol.I- Sept.25-28, 2000. Vienna, Austria. P.353-358.
22. Lara Rosano F. Implementaring Expert Systems in Engeneering // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, vol.IX, topic 30 Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Sept.25-28, 2000, Vienna, Austria. P.217-220.
23. Mursec B., Cus F. Expert System for Optimization of Cutting Parameters // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, vol.IX, topic 30 Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Sept.25-28, 2000, Vienna, Austria. P.221-224.
24. Vindisar J., Bajsic I., Selecting Flowmeter with a Help of an Expert System // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, vol.IX, topic 30 Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Sept.25-28, 2000, Vienna, Austria. P.225-230.
25. Кусень Е.Б. Сравнение оболочек экспертных систем реального времени // Приборы и системы управления. 1995. №6. С.29-33.
26. Переверткин С.М., Дубовик Б.А., Оптимальная адаптивная дискретизация в измерительных системах. // Автоматика и телемеханика. 1975. №5. С.12-15.
27. Husic C. B. and oth. Problems of Data Acquisition, processing and transmtion a Board Manned Spacecraft // Aerospace Instrumentation. 1967. Vol. 4, P. 205-219.
28. Noyes I. C. Review of real time spacecraft data processing systems // ESOC Spacecraft Operations, Nenilly-sur-soine S. A.. 1973. Vol. 6, P. 60-66.
29. Tooley I.R. and oth. A Programmable Spacecraft Data Handling System // Record of the International Space Electron Symposium. Las-Vegas.- 1964. P. 2c/1-2c/12.
30. Miller D. E. The Titan III remote multiplexed intrumentation system // Proceedings of the National Telemetry Conference, New York, 1969, P. 280-284.
31. Elson B. N. Stored Program Telemetry Use growing // Aviation Week and Space Technology. 1968. № 11, Vol. 93, P. 65-69.
32. Berger N. N., Ulrickson K. W. Programmable Telemetry for Aerospace Missions. // WESCON Technical Papers. 1965. № 5, P. 14.3.1-14.3.7.
33. Airila M., Kallenbach E.: Mechanical Engineering in the Information Era // Proceedings of the 44th Wissenschaftliche Kolloquim, Ilmenau, Deutschland. P. 3-5, 20-23.09, 1999.
34. Ivakhiv O.: Intelligent Measurement System // Proceeding of the International Conference on Actual Problems of Measerement Technique, Kyiv, Ukraine, 7-10 September. 1998. P.54-55.
35. Borek R., Ivakhiv O., Velgan R., Viblii R.: Programmable Measurement System // Materiały Krajowego Kongresu Metrologii "Nowe wyzwania i wizje metrologii,

Gdansk '98", Sept.15-18, 1998. Tom 3. P. 84-88. 36. Ivakhiv O., Kowalczyk A., Velgan R.: *Intelligent Programmable Measurement System // Proceeding of the 16-th World IMEKO Congress, Vol.IX, topic 30 Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Sept.25-28, 2000, Vienna, Austria. P.341 345.* 37. Cover T., Thomas J. *Elements of Information Theory. John Wiley & Sons.Inc. New York/Chichester/Brisbane/Toronto/Singapore. 1991. 542 p.* 38. Ivakhiv O., Kowalczyk A., Viblii R.: *Intelligent Measuring System Simulation// Book of Abstracts. The 16-th IMACS World Congress on Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation, Lausanne Switzerland, August 21-*

25, 2000. P.460. 39. Быков В.В. *Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М., 1971.* 40. Калашиников И.Д., Степанов В.С., Чуркин А.В. *Адаптивные системы сбора и передачи информации. М., 1975.* 41. Карлов А.А., Калашиников М.Д., Комов В.Л. *Проектирование устройств систем передачи информации на автоматизированных моделях. М., 1985.* 42. Kleirock L.: *Queueing Systems. Volume I. Theory. A Wiley Interscience Publications, John Wiley & Sons, New-York Sydney Toronto. 1975.* 43. Kleirock L.: *Queueing Systems. Volume II: Computer Applications, John Wiley & Sons, New-York Sydney Toronto. 1976.*

УДК 621.398

РІЗНИЦЕВО-АДАПТИВНА БАГАТОТОЧКОВА СИСТЕМА З КОМБІНОВАНИМ ПЕРЕДАВАННЯМ ВІДЛІКІВ

© Ігор Шигера, 2000

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Інформаційно-вимірювальна техніка",
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Описано різницево-адаптивну систему з комбінованим передаванням відліків. Отримано вирази
для оцінки необхідної швидкості передавання інформації.*

*Описана разностно-адаптивная система с комбинированной передачей базового отсчета.
Получены выражения для оценки требуемой скорости передачи информации.*

*The difference adaptive system with combination transmission markings is investigated in this paper.
The data rate estimation expression for is found.*

Зростання складності об'єктів вимірювань неминує призводить до збільшення обсягів інформації, яка надходить від об'єкта до споживача через канал зв'язку. Водночас із суттєвими для одержувача повідомленнями по каналу зв'язку передається значна кількість надлишкових. Однією з основних причин наявності надлишковості під час передавання неперервних сигналів є їх нестационарність.

У багатоточкових системах, побудованих за принципом рівномірного (циклічного) опитування давачів, крок опитування вибирають, виходячи з максимально можливого значення частоти найбільш інтенсивного процесу сукупності [1]. Це значно зменшує ефективність використання каналу зв'язку.

Адаптивні системи дають змогу усунути передавання надлишкових повідомлень, що дозволяє зменшити вимоги до необхідної пропускну здатності каналу зв'язку, об'єми пам'яті та швидкодію периферійних пристроїв на приймальній стороні [2,3]. Пропускна здатність каналу зв'язку має узгоджуватися зі

смугою частот процесу і, внаслідок нестационарності останнього, є змінною.

Різницево-адаптивні системи не лише усувають надлишкові повідомлення, але й зменшують обсяг суттєвих через передавання після повного вибіркового значення (ПВЗ) приростів – інформації про досягнення процесом певних рівнів, на які поділений весь діапазон можливих значень процесу, та його поведінку (збільшення, зменшення чи незмінність).

Для обнулення похибки накопичення, що постійно наростає внаслідок дії завад у каналі зв'язку, фіксується період коригування [4], кількість приростів, однакова для кожного джерела сукупності [5] або застосовується подвійне передавання приростів [6].

У роботі [7] описано різницево-адаптивну систему з передаванням базового відліку, яка поєднує переваги різницево-адаптивної і адаптивної систем: зменшення обсягів суттєвих повідомлень та відсутність похибки накопичення відповідно.