

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

На правах рукопису

МЕЛЕВИЦЬКИЙ Ігор Володимирович

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ
ОБРОБКИ ВИНИРІВВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В РАДІОЕЛЕКТРОННИХ
СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ПОБІТТЯМИ РУХОМ

Автореферат дисертації на пошукання вченої ступені
кандидата технічних наук

06.13.01 - управління в технічних
системах

КИЇВ - 1992

ЛВ 26.368

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00825654 (U)

Робота виконана в Київському інституті інженерів цивільної авіації

Наукові керівники:

доктор технічних наук
кандидат фізико-математичних наук

Н.О.БУТКО,
І.Ф.БОЙКО.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
кандидат технічних наук, доцент

В.Ф.ІГНАТОВ,
А.І.СОЛОДОВНИК.

Безуча організація вказана в рішенні спецради.

Захист відбудеться 17 Листопада 1993 р. в 14.00 годин на засіданні спеціалізованої ради КО 72.04.02 при Київському інституті інженерів цивільної авіації.

Адреса: 252056, Київ-56, ГСП, пр.Колонізата Комарова, 1,
КІІПА, корп. 9, ауд. 9.306.



З дисертацією можна ознайомитись в бібліотечі КІІПА.

Автореферат розісланий 5 січня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук

А.Г.Баснакова

7B-26-568

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток авіаційного транспорту обумовляє розробку нових і вдосконалення існуючих радіоелектронних систем управління повітряним рухом (РЕС УПР). При цьому особливо актуальними є питання подальшого підвищення безпеки, регулярності та економічності польотів. Ці фактори в значній мірі залежать від достовірності інформації, отриманої від РЕС УПР при вирішенні задач управління повітряним рухом. Розробка принципово нових систем пов'язана з великими матеріальними затратами. Розвиток уже існуючих РЕС шляхом удосконалення конструктивних особливостей, застосування нової елементної бази, в основному вичерпаний.

В той же час, із величезних потоків виміральної інформації, отриманої в РЕС УПР, корисні дані витягуються в далеко неповному об'ємі. Розвиток в останні роки засобів обчислювальної техніки, а також математичного забезпечення до неї відкриває принципово нові можливості в сфері обробки інформації. Таким чином, стає можливою і перспективною розробка та використання в РЕС УПР нових методів і алгоритмів обробки виміральної інформації, які можна використовувати як при розробці нових систем, так і для вдосконалення існуючих.

Викладене вище дозволяє сформулювати важливу науково-технічну задачу розробки прикладних математичних методів, алгоритмів і програм обробки виміральної інформації в РЕС УПР з метою підвищення ефективності використання даних.

При обробці виміральної інформації приходиться наближено представляти інформаційний параметер за допомогою зручних аналітичних залежностей. Фактично будується математична модель досліджуваної експериментальної залежності з деякою точністю. Подібні задачі відносяться до теорії і практики ідентифікації. Для моделей функціональних залежностей частіше всього використовують степенні поліноми. Ці поліноми прості, потребують малого об'єму обчислень, для них існує добре розвинута теорія наближень. Але значним недоліком таких поліномів являється швидкий ріст старших коефіцієнтів зі збільшенням їх степені, відсутність фізичної інтерпретації отримуваних наближень та інше. Крім того, послідовність інтерполяційних поліномів не

завжди сходиться до інтерполюючої залежності. В зв'язку з цим привертають увагу інші класи апроксимуючих функцій, а саме поліноміальні сплайни-функції / або сплайни / . Основними перевагами сплайнів являються їх хороша наближаючі властивості при відносній простоті і малому об'ємі обчислень. В зв'язку з викладеним вище дійсною являється

Мета роботи: розробка прикладних математичних методів, алгоритмів і програм ідентифікації вимірвальної інформації в РЕС УПР, що базуються на теорії статистичного оцінювання параметрів експериментальних залежностей за допомогою сплайнів і забезпечують підвищення ефективності і якості побудованих моделей.

Основна задача дослідження: розробка та модифікація прикладних математичних методів, алгоритмів, програм і пристроїв обробки вимірвальної інформації та її ідентифікації, що базуються на апроксимації і екстраполяції емпіричних залежностей в РЕС УПР за допомогою сплайн-функцій.

При цьому вирішувались наступні задачі:

1. Розробка методів, алгоритмів і програм для отримання статистичних оцінок вимірвальної інформації в РЕС УПР за допомогою сплайнів з метою підвищення ефективності і точності обробки.

2. Дослідження можливостей і розробка методів, алгоритмів і програм ідентифікації елементів РЕС УПР.

3. Створення алгоритмів і програм ідентифікації законів розподілення випадкових величин.

4. Дослідження можливостей використання сплайн-функцій для обробки траєкторних вимірів. Розробка відповідних алгоритмів і програм.

5. Створення спеціалізованих пристроїв обробки вимірвальної інформації за допомогою сплайнів.

6. Проведення експериментальної перевірки основних розроблених методів, алгоритмів і програм.

Теоретичний апарат. Дослідження проведені з використанням теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії наближень та лінійної алгебри.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. Розроблені і впроваджені методи, алгоритми і програми для обробки вимірвальної інформації в РЕС УПР, що дозволяють покращити якість ідентифікації емпіричних залежностей.

2. Експериментально перевірена можливість і дається рекомендації по ідентифікації нелінійних статичних і лінійних динамічних систем в процесі експлуатації РЕС УНР.

3. Показані принципи створення спеціалізованих пристроїв сплайн-обробки вимірювальної інформації. Створені пристрої:

- сплайн-інтерполятор;
- сплайн-апроксиматор;
- сплайн-екстраполятор.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше розроблені нові, оригінальні математичні методи, алгоритми і програми обробки вимірювальної інформації з допомогою сплайнів / в тому числі рекурентні і в реальному часі /

розроблені нові алгоритми і програми сплайн-ідентифікації елементів РЕС УНР ;

запропоновані і досліджені методи, алгоритми і програми обробки траєкторної інформації сплайнами в скорованому вікні і в рекурентним нарощуванням сплайна;

створені технічні засоби для сплайн-обробки вимірювальної інформації в РЕС УНР / сплайн-інтерполятор, сплайн-апроксиматор, сплайн-екстраполятор /, що являють предмет винаходу, захищеного авторським свідоцтвом.

На захист виносяться наступні основні положення роботи: створені математичні сплайн-методи ідентифікації вимірювальної інформації;

алгоритми і програми, що реалізують розроблені сплайн-методи;

способи і результати використання розроблених сплайн-методів для ідентифікації РЕС УНР;

принципи побудови приладів для вирішення задач обробки вимірювальної інформації з допомогою сплайнів;

результати технічних рішень розроблених методів;

результати експериментальних досліджень основних алгоритмів і програм.

Впровадження результатів роботи. Основні результати роботи використані і впроваджені в розробках що виконуються в науково-дослідному інституті "Буряк" / м.Київ /, науково-дослідному інституті "Сатурн" / м.Київ /, центрі експлуатації радіоселективного обладнання та зв'язку об'єднання "Авіалінії України", а також в учбовий процес на кафедрі автоматизації

прийому і обробки інформації Київського інституту інженерів цивільної авіації.

Апробація роботи. Результати виконаних досліджень доповідались і отримали позитивну оцінку на 7 всесоюзних і міжнародних науково-технічних конференціях: "Статистические методы обработки информации" / Київ, 1985 ; Львів, 1986 ; Київ, 1992 /; " Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов " / Москва, 1988 ; Київ, 1989 ; Київ, 1990 ; Київ, 1992 /.

В повному обсязі робота доповідалась на спільному семінарі кафедри авіаційних радіоелектронних систем і кафедри теорії автоматичного управління і авіаційних тренажерів КПЦА.

Публікації. Основні результати наукової роботи автора містяться в 17 наукових роботах / в тому числі в 4 статтях, 12 тезах доповідей, і авторському свідостві / та і звітowi по НДР.

Структура роботи і її об'єм. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, закінчення, списку літератури і доповнення. Об'єм роботи без доповнення і бібліографії складає 113 ст.; робота включає 6 таблиць, 48 малюнків і 104 бібліографічні назви; загальний об'єм роботи - 142 сторінки.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині сформульована задача дослідження, обґрунтована її актуальність, виділена мета роботи і питання що вирішуються, вказані її наукова новизна і практична цінність .

В першому розділі роботи показані передумови використання сплайнів в задачах обробки вимірjuвальної інформації в РЕС УНР. Важливим фактором для використання сплайнів є наявність фізичних процесів, що мають кусковий або сплайновий характер, наприклад: траєкторія руху космічної цілі з інерційними та активними відрізками; поширення радіохвиль в ближній і дальній зонах; умови поширення радіохвиль в атмосфері в залежності від висоти; вольт-амперна характеристика напівпровідникового діода в режимах малого і великого сигналів; інтенсивність відмов РЕС УНР на різних етапах експлуатації.

Прикладами пристроїв і методів, що використовують кускові функції є : компенсатор девіації в АРК-15; алгоритми послідовної обробки даних в часовому вікні; методи лінеаризації вольт-амперних характеристик приладів; картографування перешкод

в РЛС. Що стосується цивільної авіації, то в КІІНА розроблений ряд програм і методик рішення експлуатаційних задач з використанням сплайнів.

В основі багатьох методів обробки виміральної інформації лежить наближення функціональних залежностей. Існують різноманітні методи наближення і наближаючі функції. Серед них особливе місце займають сплайни, що відрізняються простотою і хорошими наближаючими якостями.

Вимірвальна інформація як правило включає різного роду погрешності, що маскують основну закономірність. Тому при обробці цих даних використовують статистичні методи. В цій роботі використовуємо метод найменших квадратів (МНК), як достатньо простий, зручний у відношенні обчислень і такий що вимагає мінімальної інформації про погрешності.

Розглядається можливість ідентифікації законів розподілення випадкових величин з допомогою сплайнів.

У другому розділі виконана розробка найбільш загальних математичних методів і алгоритмів обробки виміральної інформації за допомогою сплайнів.

В роботі використовуються ермітові інтерполяційні сплайни в лагранжевій формі запису. Поліном Ерміта зручний тим, що визначається через значення функції і похідних. Лагранжева форма зручна для явної фізичної інтерпретації коефіцієнтів, що визначають сплайн. В загальному випадку значення сплайна дорівнює:

$$S(t) = \sum_{j=0}^n f_j X_j(t), \quad t \in [x_0, x_n].$$

де f_j - значення сплайна в точках злику, $X_j(t)$ - функція форми.

Внаслідок кінечності функції форми значення сплайна на конкретному відрізку рівняється:

$$S_j(t) = f_{j-1} X(t) + f_j X(t) + f_{j+1} X(t) + f_{j+2} X(t), \quad t \in [x_j, x_{j+1}].$$

В розділі приведені вирази для інтегралів і диференціалів від використовуваних сплайнів.

В РЛС ВІР доводиться також мати справу з даними, котрі являються відліками деякої функції двох аргументів. Найпростіший двовірний сплайн будеться як тензорне перемноження одноірних на прямокутній сітці в відповідності з виразом:

$$S(t, l) = \sum_{i=0}^R \Omega_i \bar{X}_i(t) + \sum_{j=0}^M G_j \bar{X}_j(l) - \sum_{k=0}^L f_k W_k(t, l).$$

Розроблені алгоритми розрахунку значень одномірних ермітових сплайнів першої і третьої степені та двоімірних через добуток одномірних першої і першої, першої і третьої степені.

Вирішена задача побудови згладжуючого сплайна для обробки вимірювальної інформації методом найменших квадратів.

Нехай на відрізковій $[a, b]$ в вузлах довільної сітки спостережень маємо значення функції $y(t)$, що включають погрешності і є послідовністю некорельованих спостережень :

$$E = e_1, \dots, e_1, \dots, e_n.$$

Опишемо поведінку $y(t)$ сплайном:

$$y(t) = f(\phi(t), A),$$

де $A = \{a_j\}_{j=0}^R$ - детермінований вектор невідомих чисельних параметрів / значень сплайна у вузлах /, що входять лінійно в $f(\phi(t), A)$;

$\phi(t)$ - вектор з елементами $X_j(t)$, що є функціями незалежної змінної t .

Необхідно побудувати статистичні оцінки невідомих параметрів A по результатах спостережень E . Будемо оцінювати вектор A таким чином, щоб побудована залежність влаштовувала умові мінімуму суми квадратів різниці між спостереженнями і отриманою залежністю. Для цього будемо шукати значення оцінок A , що забезпечать мінімум виразу:

$$(E - X A)^* (E - X A) = \sum_{i=1}^n (e_i - \sum_{j=0}^R a_j x_{i,j})^2$$

де X - матриця планування з елементами x_{ij} .

Це досягається шляхом рішення системи так званих нормальних рівнянь у вигляді

$$A = (X^* X)^{-1} X^* E = C^{-1} B.$$

Локальність сплайна дозволила розробити ефективний алгоритм вирішення останньої задачі, в якому матриці C і B формуються рекурентним способом.

Розроблена модифікація рекурентного методу найменших квадратів. Його особливістю є можливість збільшення кількості оцінюваних параметрів, що особливо важливо для ефективної обробки вимірювальної інформації сплайнами в реальному часі.

Нехай на n кроці маємо рівняння моделі $X_n A_n = Y_n$ і відповідні рішення $MN A_n = C_n^{-1} B_n$. Тоді на $n+1$ кроці отримана точка

t_{n+1} , Y_{n+1} що належить $r+1$ відрізку сплайна. В цьому випадку рівняння моделі має вигляд: $X_{n+1} A_{n+1} = Y_{n+1}$, або

$$\begin{bmatrix} X_n & 0 \\ T_{n+1} & P_{n+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_r \\ a_{r+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_n \\ Y_{n+1} \end{bmatrix},$$

де T_{n+1} — вектор, зв'язаний з новою точкою;

P_{n+1} — скалярний коефіцієнт.

Тоді

$$C^{-1}_{n+1} = [C_n + T_{n+1} T_{n+1}^T]^{-1} = C^{-1}_n - C^{-1}_n T_{n+1} d T_{n+1}^T C^{-1}_n$$

$$де \quad d = [1 + T_{n+1}^T C^{-1}_n T_{n+1}]^{-1};$$

$$C^{-1}_{n+1} = \begin{bmatrix} C^{-1}_{n+1} + C^{-1}_{n+1} V^T \Omega & -Q^T \\ -Q & Z^{-1} \end{bmatrix};$$

$$\Omega = U C^{-1}_{n+1}, \quad Z = S - V C^{-1}_{n+1} V^T; \quad U = Z^{-1} V;$$

$$B_{n+1} = \begin{bmatrix} X_n^T Y_n + T_{n+1}^T Y_{n+1} \\ P_{n+1} Y_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{n+1} \\ h \end{bmatrix};$$

$$A_{n+1} = C^{-1}_{n+1} B_{n+1} = \begin{bmatrix} A_n \\ a_{r+1} \end{bmatrix}.$$

Метод реалізований в алгоритмі та програмі, що дозволяє будувати згладжуючий сплайн з рекурентним нарощуванням відрізків.

Третій розділ є основним в роботі. Він присвячений розробці безпосередньо сплайн-методів та алгоритмів обробки виміральної інформації в РС ВР і ґрунтується на загальних методах та алгоритмах попереднього розділу.

Тут показані основні принципи ідентифікації нелінійних статичних систем з допомогою сплайнів, котрі основані на наближенні отриманої в процесі вимірювання залежності сплайном до НК. Розроблено алгоритми побудови моделі біполярного транзистора по сімейству статичних вихідних характеристик, що апроксимуються сплайнами. Модель дозволяє вирішувати задачі оптимального вибору режиму роботи конкретного транзистора.

Для ідентифікації траєкторної інформації прийємо сітку спостережень регулярною, а відрізки сплайна рівної довжини, за виключенням останнього. Відліки на першому відрізку відсутні. В цьому випадку матриця планування із НК має вигляд:

$$X = \begin{pmatrix} D & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & D & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & D_e \end{pmatrix}, \text{ де } D_e = \begin{vmatrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \end{vmatrix} \cdot 1$$

матриці, включаючи матриці -

стовпці з відповідними значеннями функції форми сплайна.
Для зручності розрахунків децю змінимо використовувану модель зліва, модифікувавши матрицю планування наступним чином:

$$T = \begin{vmatrix} \bar{T} \\ T \end{vmatrix}, \text{ де } \bar{T} = \begin{vmatrix} X_1 & 0 & 0 & 0 \\ X_2 & X_1 & 0 & 0 \\ X_3 & X_2 & X_1 & 0 \end{vmatrix}$$

Викладене дозволило побудувати алгоритм обробки даних у вікні з прорідженням в кількість відрахунків на окремому відрізковій сплайна, що вимагає при формуванні матриці $B = X^* T$ чотири операції множення на відрахунок і мінімуму комірок пам'яті. Вихідними даними є значення сплайна в точках зтику, котрі отримуємо множенням $A = C^{-1} B$, де C^{-1} заздалегідь розраховується для заданої сітки спостережень і вузлів сплайна. Внаслідок відмінності останнього відрізка сплайна по довжині і сітки спостережень на ньому від інших, алгоритм може виконувати екстраполяцію даних.

Для конкретної сплайнової моделі рекурентний метод найменших квадратів, приведений в попередньому розділі, також спрощується і зводиться до наступного:

$$F(i) = C^{-1}(i,r) \cdot x_4 + C^{-1}(i,r-1) \cdot x_3 + C^{-1}(i,r-2) \cdot x_2 + C^{-1}(i,r-3) \cdot x_1, \quad i=0,r;$$

$$d = 1 / (1 + F(r) \cdot x_4 + F(r-1) \cdot x_3 + F(r-2) \cdot x_2 + F(r-3) \cdot x_1); \quad C^{-1} = C^{-1} + F^* d F;$$

$$B(r) = B(r) + y_{n+1} \cdot x_4; \quad B(r-1) = B(r-1) + y_{n+1} \cdot x_3; \quad B(r-2) = B(r-2) + y_{n+1} \cdot x_2;$$

$$B(r-3) = B(r-3) + y_{n+1} \cdot x_1; \quad p = x_4 \cdot x_4;$$

$$V(r) = x_4 \cdot x_3; \quad V(r-1) = x_4 \cdot x_2; \quad V(r-2) = x_4 \cdot x_1;$$

$$L(i) = C^{-1}(i,r) V(r) + C^{-1}(i,r-1) V(r-1) + C^{-1}(i,r-2) V(r-2), \quad i=0,r;$$

$$z = p - (L(r) V(r) + L(r-1) V(r-1) + L(r-2) V(r-2));$$

$$M = C^{-1} + L^* L / z;$$

$$C^{-1} = \begin{vmatrix} M & -L^*/z \\ -L/z & 1/z \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} B \\ x_4 \cdot y_{n+1} \end{vmatrix}, \quad A = C^{-1} B.$$

Алгоритми ідентифікації функцій розподілення випадкових величин за допомогою сплайнів ґрунтуються на апроксимації їх сплайнами по ННК. Перевагою таких алгоритмів є універсальний характер наближення сплайном, котрий здатний добре описувати як прості унімодальні, так і складні полімодальні розподілення. Розроблені метод, алгоритм і програма розділення бімодальної функції на суму унімодальних. Нехай приблизно відомі границі сумарного відрізка. Тоді для значень, що спостерігаємо $f_1 = f_1(t_1) + f_2(t_1)$ можна записати:

$$F = \begin{pmatrix} F \\ 0 \end{pmatrix} - X A = \begin{pmatrix} X_1 & X_2 \\ E_1 & E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & 0 \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & V_{24} \\ 0 & V_{32} & V_{33} & V_{34} \\ 0 & 0 & V_{43} & 0 \\ 0 & V_{52} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Спеціальний вигляд і розрідженість матриць дозволили побудувати ефективний алгоритм для визначення значень сплайнів у вузлах методом найменших квадратів.

При ідентифікації динамічних систем необхідно по випадковим даним про з'яву відповідних вхідних і вихідних сигналів отримати імпульсну перехідну функцію системи (ІПФ). В цьому випадку ІПФ знаходять рішаючи інтегральне рівняння Віне,а-Хопфа:

$$R_{xy}(q) = \int_0^T w(t) R_{xx}(t - q) dt$$

де: $R_{xx}(t)$ — кореляційна функція вхідного сигналу;
 $R_{xy}(t)$ — взаємно кореляційна функція вхідного і вихідного сигналів;
 $w(t)$ — ІПФ.

В зв'язку зі складністю аналітичного рішення рівняння частіше всього користуються числовими методами, в яких інтеграл апроксимується системою лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$R_{xy} = R_{xx} W$$

Однак така задача відноситься до некоректно поставлених і її рішення має ряд складностей. Малі неточності у вхідних даних приводять до неприємно великих помилок в результаті. Для вирішення цієї проблеми використовують проєкційні методи, ідея котрих полягає в апроксимації результату деякою гладкою функцією, в даному випадку поліноміальним сплайном. Тоді значення сплайна в n точках визначаються слідуючим чином:

$$W = X A$$

де X — блочно-діагональна матриця розмірності $n \times R+1$;
 A — матриця-стовпець абсцис вузлів сплайна розмірності $R+1$;
 R — кількість точок зтику сплайна (вузлів сплайна) на
інтервалі інтегрування .

Тоді маємо $R_{xy} = R_{xx} X A$ або $R_{xy} = P A$,

де $P = R_{xx} X$ — матриця розмірності $n \times R+1$.

ІФФ визначаємо по НКР рідуючи систему нормальних рівнянь у вигляді

$$A : (P^* P)^{-1} P^* R .$$

Розроблені алгоритми та програма, що вирішують дану задачу.

Четвертий розділ включає результати експериментальних досліджень.

По результатам вимірів виконана ідентифікація сімейства вольт-амперних характеристик біполярного транзистора і виконана перевірка адекватності моделі фізичному прототипу. Результати підтверджують хорошу якість моделі навіть при невисокій точності вимірів і малому об'ємі даних.

Проведено дослідження сплайн-алгоритмів обробки траєкторної інформації. Виконаний зрівняльний аналіз кореляційних матриць помилок метода найменших квадратів запропонованих моделей і найбільш близьких — поліноміальних. Отримані результати показують, що виграв в степені зниження вхідної дисперсії при використанні ломаної замість прямої в незначній мірі залежить від числа відрізків і суттєво залежить від кількості відрізків на відрізковій, наближаючись до двох. Для ермітового сплайна третьої степені і відповідно полінома третьої степені це число наближається до дев'яти. Результати перевірялись числовим моделюванням.

Досліджено метод сплайн-ідентифікації лінійних динамічних систем. Умови ідентифікації реального фізичного об'єкта моделювалися математично. Послідовність некорельованих випадкових чисел з нормальним законом розподілення фільтрувалися фільтром низьких частот, формуючи випадкову послідовність з необхідною автокореляційною функцією, котра подавалась на вхід досліджуваної системи. Розрахована імпульсна характеристика відповідає істинній. Рішення цієї задачі без використання спеціальних регулярируючих методів дає неприятний результат.

Показані основні принципи побудови апаратних систем обробки вимірної інформації з допомогою сплайнів. На

прикладі показана реалізація нерекурсивного цифрового фільтра, що згладжує дані сплайном по методу найменших квадратів. Обчислювальні особливості сплайнів дозволяють реалізувати цю процедуру з найменшими апаратурними затратами. Розроблені сплайн-інтерполятор, сплайн-апроксиматор і сплайн-екстраполятор.

В закінченні сформульовані основні наукові результати виконаних досліджень, висновки, рекомендації по їх використанню в народному господарстві.

Додаток включає тексти основних програм і відомості, що підтверджують впровадження і використання отриманих автором наукових результатів в народному господарстві.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ВИСНОВКИ

Суть, наукова новизна, прикладна направленість і практична значимість основних результатів виконаних досліджень полягає в тому, що :

розроблені, досліджені та експериментально перевірені математичні методи, алгоритми, програми і пристрої обробки виміральної інформації в РС С УПР з допомогою сплайнів, що забезпечують підвищення ефективності роботи та якості результатів.

Рішення задачі виконано в наступних аспектах:

1. Розроблені методи, алгоритми і програми для побудови статистичних оцінок параметрів одновимірних і двовимірних сплайнів по результатах вимірювання методом найменших квадратів.

Особливістю методів є рекурентне формування матриць системи нормальних рівнянь, що дозволяє ефективно організувати розрахунки в алгоритмах та програмах, зокрема будувати виконні алгоритми. Модифікований рекурентний метод найменших квадратів дозволяє рекурентно нарощувати число відрізків сплайна / збільшувати кількість оцінюваних параметрів /. Розроблені на його основі алгоритми і програми дозволяють обробляти вимірвальну інформацію в реальному часі .

2. Розроблені методи, алгоритми та програми ідентифікації одновимірних законів розподілення випадкових даних.

Розроблені алгоритми не потребують підбору вида розчленення із відомих класів. Як самі зримі аналітичні залежності.

так і їх інтеграли та похідні звляються простими виразами, зручними в обчисленнях.

Вперше розроблені метод, алгоритми та програма розділення бімодальної функції щільності ймовірності на суму унімодальних функцій с допомогою сплайнів.

3. Розроблені і досліджені нові методи, алгоритми та програми ідентифікації елементів РЕС УПР.

Вирішена задача побудови по експериментальним даним моделі нелінійної статичної системи, як функції від одного та двох параметрів. Використання в основі моделі сплайнів робить алгоритм універсальним в плані різноманітності та складності описуваних залежностей.

Створені та досліджені алгоритми і програма ефективного вирішення інтегрального рівняння Вінера—Хопфа, що вирішується в процесі статистичної ідентифікації лінійних динамічних систем.

Результати перевірені в числових та натурних експериментах.

4. Показана можливість та ефективність використання сплайнів в задачах обробки траєкторної інформації. Розроблені і досліджені рекурентні та виконні методи, алгоритми і програми ідентифікації траєкторної інформації.

В експериментальних дослідженнях показана висока ефективність запропонованих методів в порівнянні з аналогічними, якими використовують степенні поліноми.

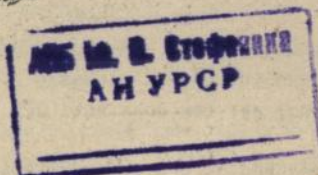
5. Показані основні принципи побудови пристроїв обробки вимірювальної інформації за допомогою сплайнів і розроблені: сплайн-інтерполятор, сплайн-апроксиматор, сплайн-екстраполятор.

Основний зміст дисертації опубліковано в слідуючих роботах:

1. Беляевский Л.С., Кислий Ю.А., Шелевицкий И.В., Шутко Н.А. Алгоритмы обработки навигационной информации с помощью сплайн-аппроксимации // Проблемы совершенствования радиосэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов: Тез. докл. Межд. НТК. — Киев: КИИГА, 1992. — с. 84.
2. Войко И.Ф., Матиборский В.В., Скрипец А.В., Шелевицкий И.В., Шутко Н.А., Яппаров А.Н. Сплайны в задачах обработки полетной информации // Проблемы совершенствования радиосэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов: Тез. докл. Межд. НТК. — Киев: КИИГА, 1992. — с. 55.
3. Бояко И.Ф., Шелевицкий И.В., Шутко Н.А., Ст. хастический

- анализ радиозлектронных систем и комплексов // Проблемы совершенствования радиозлектронных комплексов и систем обеспечения полетов: Тез. докл. Межд. НТК. - Киев: КИИГА, 1992. - с.39.
4. Войко И.Ф., Шутко Н.А., Шелевицкий И.В. Параметрическая идентификация радиозлектронных систем с помощью сплайн-функций // Проблемы совершенствования радиозлектронных комплексов и систем обеспечения полетов: Сб. научн. тр. - Киев: КИИГА, 1990. - с.100-107.
5. Войко И.Ф., Шутко Н.А., Шелевицкий И.В. Статистическая идентификация линейных динамических систем с помощью полиномиальных сплайнов // Статистические методы обработки информации: Тез. докл. Межд. НТК. - Киев: КИИГА, 1992. - с.94.
6. Войко И.Ф., Шутко Н.А., Шелевицкий И.В. Статистическая идентификация линейных динамических систем с помощью сплайнов // Повышение эффективности функционирования радиозлектронных систем: Сб. научн. тр. - Киев: КИИГА, 1992. - с.93-96.
7. Денисов В.П., Картавая Т.Г., Шелевицкий И.В., Шутко Н.А. Повышение эффективности систем обработки данных // Проблемы совершенствования процессов технической эксплуатации авиационной техники: Тез. докл. Всес. НТК. - М.: МИИГА, 1988. - с.100.
8. Денисов В.П., Шутко Н.А., Шелевицкий И.В. Алгоритмы построения простых полиномиальных сплайнов произвольных степеней // Проблемы совершенствования радиозлектронных комплексов и систем обеспечения полетов: Тез. докл. Всес. НТК. - Киев: КИИГА, 1989. - с.83.
9. Каменев В.А., Поляков В.Н., Шелевицкий И.В., Яппаров А.Н. Алгоритмы и программа для решения задач интерполяции, аппроксимации и сглаживания результатов наблюдений по методу наименьших квадратов с помощью сплайн-функций // Статистические методы обработки информации: Тез. докл. Всес. НТК. - Киев: КИИГА, 1985. - с.129.
10. Каменев В.А., Шелевицкий И.В. Сравнительный анализ двух алгоритмов обработки информационных сигналов // Статистические методы обработки информации: Тез. докл. Всес. НТК. - Киев: КИИГА, 1985. - с.128.
11. Картавая Т.Г., Шелевицкий И.В., Шешина Л.А., Яппаров А.Н. Повышение достоверности обработки измерительной информации с помощью сплайнов // Статистические методы обработки информации: Тез. докл. Всес. НТК. - Львов: ЛИАП, 1986. - с.86.

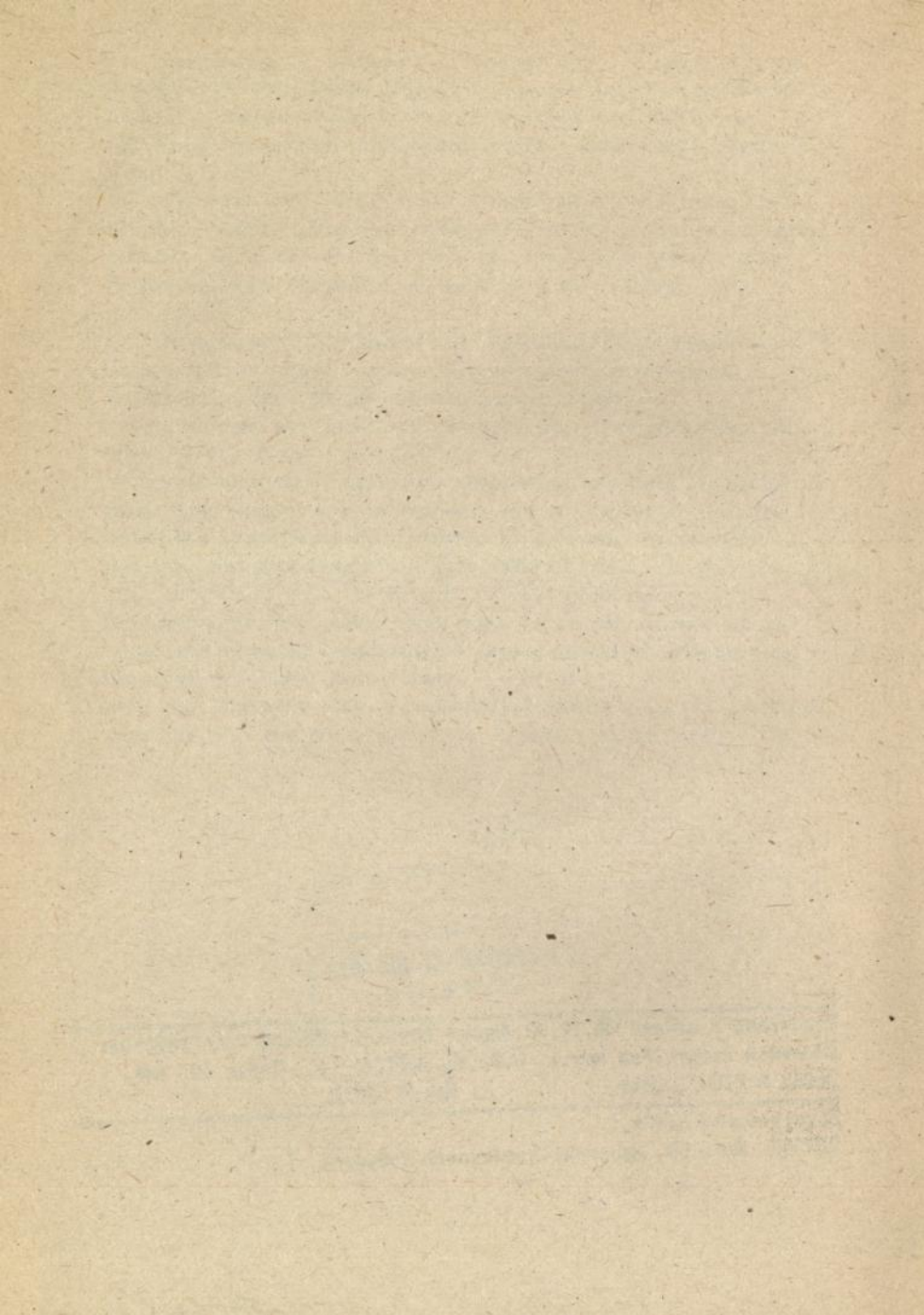
12. Марченко В.Г., Шутко Н.А., Каменев В.А., Шелевицкий И.В., Яппаров А.Н. Применение двумерных сплайнов для статистической обработки информационных сигналов // Статистические методы обработки информации: Тез. докл. Всес. НТК. - Киев: КИИГА, 1985. - с. 20.
13. Марченко В.Г., Шутко Н.А., Шелевицкий И.В., Яппаров А.Н. Прогнозирование параметров радиоэлектронной аппаратуры с помощью сплайнов // Вопросы оптимального обслуживания и ремонта АирЭО воздушных судов ГА: Межвуз. сб. научн. тр. - Киев: КИИГА, 1985. - с. 67-73.
14. Прокопенко И.Г., Никитин А.П., Шелевицкий И.В. Применение сплайн-аппроксимации в задачах стохастического анализа полупроводниковых приборов в нелинейном режиме // Статистические методы обработки информации: Тез. докл. Межд. НТК. - Киев: КИИГА, 1992. - с. 16-17.
15. Шелевицкий И.В. Обработка информации сплайнами по методу наименьших квадратов в скользящем окне // Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов: Тез. докл. Межд. НТК. - Киев: КИИГА, 1992. - с. 39.
16. Шелевицкий И.В., Шутко Н.А. Способ обработки и моделирования траекторной информации // Статистические методы обработки сигналов в авиационном радиоэлектронном оборудовании: Сб. научн. тр. - Киев: КИИГА, 1992. - с. 88-91.
17. А.С. N1686461 СССР: Сплайн-интерполятор/ Н.А. Шутко, И.В. Шелевицкий, В.П. Денисюк и др. - М.: Госкомизобретений, 1990 - 7 с.



Подписано в печать 28.12.92. Формат 60x84/16. Бумага типографская.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз.
Заказ № 219-І. Цена . Изд. № 370/Ш.

Издательство КСМГА.

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова, 1.



469540

AB 26.368

AB 26.368