

ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ Ю. ФЕДЬКОВИЧА

на правах рукопису

Мартинюк
Сергій Васильович

Управління і комп'ютерне моделювання
дискретних систем з розгалуженням структур

01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні
методи в наукових дослідженнях

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Чернівці - 1996

ДВ 34.756

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі математичних проблем управління і кібернетики Чернівецького державного університету ім. Юрія Федьковича

Науковий керівник - кандидат фіз. - мат. наук, доцент Сопронюк Ф.О.

Офіційні опоненти - доктор техн. наук, професор Бакан Г.М.

кандидат фіз. - мат. наук, доцент Свердан М.Л.

Прогідна організація - Львівський державний університет ім. І. Франка

Захист відбудеться "28" березня 1996 р. о 12 годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради К 07.01.04 в Чернівецькому державному університеті за адресою: 274012, Чернівці - 12, вул. Університетська, 28, математичний факультет

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці ЧДУ (вул. Лесі Українки, 23) .

Автореферат розіслано "26" лютого 1996 р.

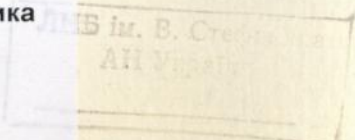
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

А.М. Садов'як

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00740285 (Q)



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ. Розширення сфери застосування комп'ютерів у різних галузях науки та виробництва пов'язано з сучасними комп'ютерними технологіями моделювання, проектування і управління технологічними процесами, що зменшує затрати на розробку та експлуатацію систем управління. У багатьох випадках ці процеси динамічні. Їх досить точно вдається описати системами дискретних рівнянь. Крім цього, функціонування дискретних динамічних систем найбільш вдало поєднується з дискретними принципами обробки інформації як у контролерах, так і комп'ютерах, які є елементами сучасних систем керування.

Визначальними властивостями систем керування є керовність, спостережність, стабілізованість, практична стійкість, інваріантність та інші. Фундаментальні результати, які стосуються вивчення цих властивостей, одержані в працях Р.Калмана, М.М.Красовського, Л.С.Понтрягіна, М.Ф.Кириченка, Б.Н.Бублика, О.Г.Наконечного, Ф.Г.Гаращенко.

У дисертаційній роботі розглядається математична модель дискретної системи, фазовий стан якої в деякі моменти може змінювати розмір. Більш того, спеціальним вибором елемента переключення структур, можна добитися розгалуження стану системи в два або більше фазових станів різних розмірів. Такі системи називатимемо системами з розгалуженням структур і вивчимо ряд властивостей таких систем.

При дослідженні дискретних систем керування з розгалуженням структур важливими є методи комп'ютерного моделювання, особливо на етапі проектування, що надає можливість одержати якісні характеристики систем керування до їх технічної реалізації.

Тому автоматизація досліджень дискретних систем керування зумовлює провідну роль програмного забезпечення. Розробка програмних засобів для комп'ютерів, зокрема і для комп'ютерного моделювання дискретних систем керування з розгалуженням структур, показує, що найбільш вдало принципи розробки відображені у концепції об'єктно-орієнтованого програмування мовою C++. Ця концепція взята в дисертаційній роботі за основу розробки програмного забезпечення комп'ютерного моделювання систем керування з розгалуженням структур.

МЕТОЮ ДИСЕРТАЦІЇ є дослідження властивостей керовності і спостережності, мінімаксного оцінювання станів дискретних систем керування з розгалуженням структур, а також створення програмних засобів комп'ютерного моделювання вказаних систем.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Результати з проблем керовності, спостережності та побудови мінімаксного фільтра для дискретних систем з розгалуженням структур отримано шляхом узагальнення методіки дослідження лінійних систем керування. При створенні системи комп'ютерного моделювання дискретних систем з розгалуженням структур використано об'єктно-орієнтовний підхід, специфікації й абстракції даних і процедур.

НАУКОВА НОВИЗНА. Одержано такі нові результати:

1. Доведено теореми про цілком керовність та спостережність дискретних систем керування з розгалуженням структур.

2. Знайдено умови цілком керовності для інваріантних відносно зміни параметра часу на певних інтервалах дискретних систем керування з розгалуженням структур.

3. Отримано оптимальні апостеріорні оцінки для станів дискретних систем керування з розгалуженням структур.

4. Введено специфікації та абстракції даних об'єктно-орієнтовного опису дискретних систем керування з розгалуженням структур.

5. Розроблено програмний комплекс комп'ютерного моделювання дискретних систем з розгалуженням структур.

ТЕОРЕТИЧНА ТА ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ. Отримані в дисертації результати можуть бути використані при дослідженні дискретних систем керування як з розгалуженням, так і без розгалуження структур. Розроблена система комп'ютерного моделювання надає можливість автоматизувати процес дослідження та проектування дискретних систем керування і може бути використана у навчальному процесі в курсах, пов'язаних з математичним моделюванням та САПР систем управління. Абстракції даних і специфікації об'єктно-орієнтовного опису дискретних систем керування є основою розробки програмних засобів.

НА ЗАХИСТ ВІНОСЯТЬСЯ:

1. Критерії цілком керовності дискретних лінійних систем керування з розгалуженням структур.
2. Умови цілком керовності стаціонарних дискретних систем з розгалуженням структур.
3. Умови цілком спостережності дискретних лінійних систем керування з розгалуженням структур.
4. Оптимальний мінімаксий фільтр оцінки станів дискретних систем з розгалуженням структур, побудований на основі принципу оптимальності Белмана.
5. Специфікації математичного об'єктно - орієнтованого опису систем керування з розгалуженням структур.

6 Комплекс програмних засобів комп'ютерного моделювання і проектування систем керування з розгалуженням структур.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

- VII Всесоюзній науково-технічній конференції " Проблеми, задачі та досвід застосування технології розробки та впровадження програмних засобів АСУ ТП" (9 - 11 жовтня 1990 р., Чернівці);

- Міжнародній конференції " Теорія наближення та задачі обчислювальної математики " (26 - 28 травня 1993 р., Дніпропетровськ);

- Першій українській конференції з автоматичного керування "Автоматика - 94" (18 - 23 травня 1994 р., Київ);

- Міжнародній математичній конференції, присвяченій пам'яті Ганса Гана (10-15 жовтня 1994 р., Чернівці);

- засіданнях наукових семінарів математичного факультету та кафедри математичних проблем управління і кібернетики Чернівецького держуніверситету.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК. У [1] дисертантом отримано умови цілком спостережності, а також розв'язано задачу побудови оптимальних апостеріорних оцінок для станів функціонування дискретних систем керування з розгалуженням структур. У [2, 5, 6] отримано критерії цілком керовності дискретних систем керування з розгалуженням структур.

ПУБЛІКАЦІЇ. Основні результати дисертації опубліковані у роботах [1 - 6].

СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ ДИСЕРТАЦІЇ. Робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури та

додатку. Бібліографія складає 97 найменувань, загальний обсяг роботи - 110 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ.

У ВСТУПІ подано короткий огляд літератури, обґрунтовано актуальність вибраної теми досліджень, сформульовано мету роботи, коротко викладено зміст досліджень, а також наведені положення, які виносяться на захист.

У ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ наведено результати з керовності та спостережності дискретних систем керування з розгалуженням структур. Розділ складається з трьох параграфів.

У 1.1 розглядається дискретна система керування з розгалуженням структур, математична модель якої має вигляд

$$\begin{aligned} x_{(j)}(k_{j-1} + k + 1) = & A_j(k_{j-1} + k)x_{(j)}(k_{j-1} + k) + \\ & + B_j(k_{j-1} + k)u_{(j)}(k_{j-1} + k), \end{aligned} \quad (1)$$

$$x_{(j)}(k_{j-1}) = C_j x_{(j-1)}(k_{j-1}), \quad (2)$$

де $A_j(k_{j-1} + k)$, $B_j(k_{j-1} + k)$, C_j - відомі матриці відповідно розмірів $n_j \times n_j$, $n_j \times m_j$ і $n_j \times n_{j-1}$, $x_{(j)}(k_{j-1} + k)$ - вектор стану системи, $u_{(j)}$ - вектор керування системи, $k = 0, 1, \dots, k_j - k_{j-1} - 1$, $j = \overline{1, N}$, ($C_1 = E_1$ - одинична матриця розміру $n_1 \times n_1$), $[k_0, k_N]$ - проміжок дослідження системи.

Рівняння (2) задають розгалуження системи керування, які відбуваються у дискретні моменти k_1, k_2, \dots, k_{N-1} , коли система змінює розмір фазового стану з n_j на n_{j+1} , причому $k_1 < k_2 < \dots < k_{N-1}$.

Розглянемо набір фазових просторів X_1, X_2, \dots, X_N розмірів n_1, n_2, \dots, n_N відповідно і нехай $x_{(1)}(k_0) = x_{(1)} \in X_1$, $x_{(N)}(k_N) = x_{(N)} \in X_N$.

ОЗНАЧЕННЯ 1.1.1. Система (1), (2) називається цілком керовною на проміжку $[k_0, k_N]$, якщо для будь-яких $x_{(1)} \in X_1$ та $x_{(N)} \in X_N$ існує набір керувань $u_{(1)}(k_0)$, $u_{(1)}(k_0 + 1)$, ..., $u_{(1)}(k_1 - 1)$, $u_{(2)}(k_1)$, ..., $u_{(2)}(k_2 - 1)$, ..., $u_{(N)}(k_{N-1})$, $u_{(N)}(k_{N-1} + 1)$, ..., $u_{(N)}(k_N - 1)$

таких, що переводять систему зі стану $x_{(1)}(k_0) = x_{(0)}$ у стан $x_{(N)}(k_N) = x_{(0)}$.

Введемо такі позначення:

$$X_j(k_{j-1} + k, k_{j-1} + i) = A_j(k_{j-1} + k - 1)A_j(k_{j-1} + k - 2) \dots A_j(k_{j-1} + i),$$

$$W_j(k_j, k) = X_j(k_j, k + 1)B_j(k),$$

$$V_N(k_N, j + 1) = X_N(k_N, k_{N-1})C_N \dots X_{j+1}(k_{j+1}, k_j)C_j,$$

де $X_j(k_j, k_j) = E_j$ – одинична матриця порядку n_j .

ТЕОРЕМА 1.1.1. Для того, щоб система (1), (2) була цілком керовною на проміжку $[k_0, k_N]$ необхідно і досить, щоб існував такий ненульовий вектор l розміру n_N , для якого виконується рівність $x_{(0)} - V_N(k_N, 1)x_{(0)} = W(k_N)l$, де

$$W(k_N) = \sum_{j=1}^N V_N(k_N, j + 1) \sum_{i=k_{j-1}}^{k_j-1} W_j(k_j, i)W_j^T(k_j, i)V_N^T(k_N, j + 1).$$

ТЕОРЕМА 1.1.2. Для того, щоб система (1), (2) була цілком керовною необхідно і досить, щоб матриця $W(k_N)$ була невивродженою.

Зауважимо, що матриця $W(k_N)$ складається з доданків, кожний з яких є невід'ємно визначеною матрицею. Тому умову невивроженості матриці $W(k_N)$ можемо замінити умовою: система (1), (2) буде цілком керовною на проміжку $[k_0, k_N]$ тоді і тільки тоді, коли знайдеться номер j_0 , $j_0 \in \{1, 2, \dots, N\}$, що матриця $V_N(k_N, i_0 + 1)W_{j_0}(k_{j_0}, i)W_{j_0}^T(k_{j_0}, i)V_N^T(k_N, j_0 + 1)$ буде невивродженою для хоча б одного номера $i \in [k_{j_0-1}, k_{j_0} - 1]$.

Далі розглядається така модель дискретної системи керування з розгалуженням структур, коли є керуючі сигнали у моменти переключення структур. Рівняння переключення структур (2) у цьому випадку запишемо у вигляді

$$x_{(j)}(k_{j-1}) = C_j x_{(j-1)}(k_{j-1}) + D_j v_{(j)}, \quad (3)$$

де D_j – відомі матриці розмірів $n_j \times r_j$, $v_{(j)}$ – вектори керувань у

переключенні структур, $k = 0, 1, \dots, k_j - k_{j-1} - 1$, $j = \overline{1, N}$ (D_i — нульова матриця), $[k_0, k_N]$ — проміжок дослідження системи.

Рівняння (3) задають розгалуження системи керування, які відбуваються у дискретні моменти k_1, k_2, \dots, k_{N-1} з урахуванням параметрів керування $v_{(1)}, v_{(2)}, \dots, v_{(N-1)}$.

ОЗНАЧЕННЯ 1.1.2. Система (1), (3) називається цілком керовною на проміжку $[k_0, k_N]$, якщо для будь-яких $x_{(0)} \in X_1$ та $x_{(N)} \in X_N$ існує набір керувань $u_{(0)}(k_0), u_{(0)}(k_0 + 1), \dots, u_{(1)}(k_1 - 1), u_{(2)}(k_1), u_{(2)}(k_1 + 1), \dots, u_{(2)}(k_2 - 1), \dots, u_{(N)}(k_{N-1}), u_{(N)}(k_{N-1} + 1), \dots, u_{(N)}(k_N - 1)$ і набір керувань у переключеннях структур $v_{(1)}, v_{(2)}, \dots, v_{(N)}$ таких, що переводять систему зі стану $x_{(0)}(k_0) = x_{(0)} \in X_1$ у стан $x_{(N)}(k_N) = x_{(N)} \in X_N$.

ТЕОРЕМА 1.1.3. Для того, щоб система (1), (3) була цілком керовною на проміжку $[k_0, k_N]$ необхідно і досить, щоб існував такий ненульовий вектор l розміру n_N , для якого виконується рівність

$$x_{(0)} - V_N(k_N, 1)x_{(0)} = [W_1(k_N) + W_2(k_N)]l,$$

де

$$W_1(k_N) = \sum_{j=2}^N V_N(k_N, j+1)Z_j(k_j, k_{j-1})Z_j^T(k_j, k_{j-1})V_N^T(k_N, j+1),$$

$$W_2(k_N) = \sum_{j=1}^N V_N(k_N, j+1) \sum_{i=k_{j-1}}^{k_j-1} W_j(k_j, i)W_j^T(k_j, i)V_N^T(k_N, j+1),$$

$$Z_j(k_j, k_{j-1}) = X_j(k_j, k_{j-1})D_j(i).$$

ТЕОРЕМА 1.1.4. Для того, щоб система (1), (3) була цілком керовною на інтервалі $[k_0, k_N]$, необхідно і достатньо, щоб матриця $W(k_N) = W_1(k_N) + W_2(k_N)$ була невиродженою.

Керовність інваріантних відносно зміни $k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1]$ дискретних систем з розгалуженням структур досліджується у 1.2.

Нехай у математичній моделі дискретної системи керування з розгалуженням структур (1), (2) A_j, B_j, C_j , $j = \overline{1, N}$, — відомі сталі матриці розмірів $n_j \times n_j$, $n_j \times m_j$ і $n_j \times n_{j-1}$ відповідно.

ТЕОРЕМА 1.2.1. Для того, щоб система (1), (2) із сталими матрицями A_j, B_j, C_j , $j = \overline{1, N}$, була цілком керовною на проміжку

$[k_0, k_N]$ необхідно і достатньо, щоб існував такий ненульовий вектор l розміру n_N , для якого виконується рівність

$$x_{(1)} - \left(\prod_{s=1}^N A_s^{k_s - k_{s-1} + 1} C_s \right) x_{(0)} = Wl,$$

де матриця W визначається формулою

$$W = \sum_{j=1}^N \prod_{s=j+1}^N (A_s^{k_s - k_{s-1} + 1} C_s) \left(\sum_{i=k_{j-1}}^{k_j-1} A_j^{k_j-i} B_j B_j^T (A_j^T)^{k_j-i} \right) \times \\ \times \left(\prod_{s=j+1}^N C_s^T (A_s^T)^{k_s - k_{s-1} + 1} \right).$$

ТЕОРЕМА 1.2.2. Для того, щоб система (1), (2) із сталими матрицями $A_j, B_j, C_j, j = \overline{1, N}$, була цілком керовною на проміжку $[k_0, k_N]$ необхідно і досить, щоб існував хоча б один номер $j_0 \in \{1, 2, \dots, N\}$, для якого матриця

$$\prod_{s=j_0+1}^N (A_s^{k_s - k_{s-1} + 1} C_s) A_{j_0}^{k_{j_0}-i} B_{j_0} B_{j_0}^T (A_{j_0}^T)^{k_{j_0}-i} \left(\prod_{s=j_0+1}^N C_s^T (A_s^T)^{k_s - k_{s-1} + 1} \right)$$

невироджена при деякому $i \in [k_{j_0-1}, k_{j_0} - 1]$.

Далі розглядається дискретна система з розгалуженням структур (1), (3) із сталими матрицями $A_j, B_j, C_j, D_j, j = \overline{1, N}$.

У цьому випадку матриця $W(k_N)$ матиме вигляд

$$W(k_N) = \sum_{j=1}^N \prod_{s=j+1}^N (A_s^{k_s - k_{s-1} + 1} C_s) \times \\ \times \left(\sum_{i=k_{j-1}}^{k_j-1} A_j^{k_j-i} B_j B_j^T (A_j^T)^{k_j-i} + A_j^{k_j-k_{j-1}} D_j D_j^T (A_j^T)^{k_j-k_{j-1}} \right) \times \\ \times \left(\prod_{s=j+1}^N C_s^T (A_s^T)^{k_s - k_{s-1} + 1} \right).$$

Необхідною і достатньою умовою цілком керовності системи (1), (3) із сталими матрицями $A_j, B_j, C_j, D_j, j = \overline{1, N}$, на проміжку $[k_0, k_N]$ є невивірженість матриці $W(k_N)$, тобто, якщо існує такий номер $j_0 \in \{1, 2, \dots, N\}$, для якого

$$\det \left\{ \prod_{s=j_0+1}^j (A_s^{k_s-k_{s-1}+1} C_s) (A_{j_0}^{k_{j_0}-1} B_{j_0} B_{j_0}^T (A_{j_0}^T)^{k_{j_0}-1} + \right. \\ \left. + A_{j_0}^{k_{j_0}-k_{j-1}} D_{j_0} D_{j_0}^T (A_{j_0}^T)^{k_{j_0}-k_{j-1}} \right) \left(\prod_{s=j_0+1}^N C_s^T (A_s^T)^{k_s-k_{s-1}+1} \right) \right\} \neq 0$$

хоча б для одного номера $i \in [k_{j_0-1}, k_{j_0} - 1]$.

У 1.3 досліджуються умови цілком спостережності дискретних систем з розгалуженням структур. Розглядається дискретна система керування з розгалуженням структур, математична модель якої має вигляд

$$x_{(j)}(k_{j-1} + k + 1) = A_j(k_{j-1} + k)x_{(j)}(k_{j-1} + k), \quad (4)$$

$$x_{(j)}(k_{j-1}) = C_j x_{(j-1)}(k_{j-1}), \quad (5)$$

$$y_{(j)}(k_{j-1} + k) = G_j(k_{j-1} + k)x_{(j)}(k_{j-1} + k), \quad (6)$$

$$k = 0, 1, \dots, k_j - k_{j-1} - 1, \quad j = \overline{1, N},$$

де $A_j(k_{j-1} + k)$, C_j , $G_j(k_{j-1} + k)$ – відомі матриці розмірів $n_j \times n_j$, $n_j \times n_{j-1}$ і $m_j \times n_j$ відповідно, $j = \overline{1, N}$, $C_1 = E_1$ – одинична матриця розміру $n_1 \times n_1$, $x_{(j)}(k_{j-1} + k) \in X_j$ – вектор стану системи, $y_{(j)}$ – m_j -вимірні вимірювані сигнали, $[k_0, k_N]$ – проміжок дослідження системи, $x_{(1)}(k_0) = x_{(0)} \in X_1$.

ОЗНАЧЕННЯ 1.3.1. Система (4), (5), (6) називається цілком спостережною на проміжку $[k_0, k_N]$, якщо за значеннями вимірюваних сигналів $y_{(1)}(k_0)$, $y_{(1)}(k_0 + 1)$, ..., $y_{(1)}(k_1 - 1)$, $y_{(2)}(k_1)$, $y_{(2)}(k_1 + 1)$, ..., $y_{(2)}(k_2 - 1)$, ..., $y_{(N)}(k_{N-1})$, $y_{(N)}(k_{N-1} + 1)$, ..., $y_{(N)}(k_N - 1)$ можна однозначно відновити початковий стан $x_{(0)}$.

Нехай

$$\Phi_j(k_{j-1} + k, k_s) = X_j(k_{j-1} + k, k_{j-1}) C_j \dots X_s(k_s, k_{s-1}) C_s, \quad s \leq j,$$

$$X_j(k_{j-1} + k, k_{j-1}) = A_j(k_{j-1} + k - 1) \dots A_j(k_{j-1}),$$

$$\Psi_j(k_j + k, k_0) = G_{j+1}(k_j + k) \Phi_{j+1}(k_j + k, k_0), \\ k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1], \quad j = 0, 1, \dots, N - 1$$

ТЕОРЕМА 1.3.1. Система (4), (5), (6) буде цілком спостережною на проміжку $[k_0, k_N]$, якщо для довільного ненульового вектора l розміру n_N виконується співвідношення

$$Hl \neq 0,$$

де матриця H визначається за формулою

$$H = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{k_{j+1}-k_j-1} W_j^T(k_j+i, k_0) W_j(k_j+i, k_0). \quad (7)$$

ТЕОРЕМА 1.3.2. Система (4), (5), (6) буде цілком спостережною на $[k_0, k_N]$, якщо $\det(H) \neq 0$.

З (7) випливає, що система (4), (5), (6) буде цілком спостережною на інтервалі $[k_0, k_N]$, якщо знайдеться $j_0 \in \{0, 1, \dots, N-1\}$, що матриця

$$W_{j_0}^T(k_{j_0}+i, k_0) W_{j_0}(k_{j_0}+i, k_0)$$

буде невивродженою для хоча б одного номера $i \in [0, k_{j_0+1} - k_{j_0} - 1]$.

Далі розглядається задача про спостережність для дискретних систем з розгалуженням структур, математична модель яких має вигляд (4), (5), (6) та

$$z_{(j)} = D_j x_{(j)}(k_j), \quad (8)$$

де D_j - відомі матриці розмірів $r_j \times n_j$, $z_{(j)}$ - r_j -вимірні вектори результатів вимірювань, $k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1]$, $j = \overline{1, N}$.

ОЗНАЧЕННЯ 1.3.2. Система (4) - (6), (8) називається цілком спостережною на $[k_0, k_N]$, якщо за результатами вимірювань $y_{(0)}(k_0), y_{(0)}(k_0+1), \dots, y_{(0)}(k_1-1), z_{(0)}, \dots, y_{(N)}(k_{N-1}+1), \dots, y_{(N)}(k_N-1), z_{(N)}$ можна однозначно знайти $x_{(0)}$.

ТЕОРЕМА 1.3.3. Якщо існує таке $j_0 \in [1, N]$, для якого або

$$\det(\Phi_{j_0}^T(k_{j_0-1}+p, k_0) G_{j_0}^T(k_{j_0-1}+p) G_{j_0}(k_{j_0-1}+p) \Phi_{j_0}(k_{j_0-1}+p, k_0)) > 0$$

для деякого $p \in [0, k_{j_0} - k_{j_0-1} - 1]$, або

$$\det(\Phi_{j_0}^T(k_0, k_0) D_{j_0}^T D_{j_0} \Phi_{j_0}(k_0, k_0)) > 0,$$

де

$$\Phi_j(k_{j-1} + k, k_s) = X_j(k_{j-1} + k, k_{j-1}) C_j \dots X_s(k_s, k_{s-1}) C_s, \quad s \leq j,$$

$$X_j(k_{j-1} + k, k_{j-1}) = A_j(k_{j-1} + k - 1) \dots A_j(k_{j-1}),$$

то система (4) - (6), (8) цілком спостережна на $[k_0, k_N]$.

ДРУГИЙ РОЗДІЛ дисертаційної роботи присвячено розгляду задачі побудови оптимального мінімаксного фільтра для систем з розгалуженням структур, показано можливість використання принципу оптимальності Белмана, а також запроваджено математичний об'єктно - орієнтований підхід до формального опису систем з розгалуженням структур у специфікаціях та реалізація специфікацій на мові програмування C++.

Розділ складається з трьох параграфів. У 2.1 розглядається задача знаходження оптимальної апостеріорної оцінки для станів системи керування з розгалуженням структур.

Математична модель дискретної системи керування з розгалуженням структур задається рівняннями

$$x_{(j)}(k_{j-1} + k + 1) = A_j(k_{j-1} + k) x_{(j)}(k_{j-1} + k) + f_{(j)}(k_{j-1} + k), \quad (9)$$

$$x_{(j)}(k_{j-1}) = C_j x_{(j-1)}(k_{j-1}), \quad (10)$$

$$y_{(j)}(k_{j-1} + k) = H_j(k_{j-1} + k) x_{(j)}(k_{j-1} + k) + v_{(j)}(k_{j-1} + k), \quad (11)$$

де $A_{(j)}(k_{j-1} + k)$, $H_j(k_{j-1} + k)$, C_j - відомі дійсні матриці розмірів $n_j \times n_j$, $m_j \times n_j$, $n_j \times n_{j-1}$ відповідно, $x_{(j)}(k_{j-1} + k) \in X_j$ - вектори стану системи, $f_{(j)}(k_{j-1} + k)$ - вектори зовнішніх збурень системи, $y_{(j)}(k_{j-1} + k)$ - результати вимірювань, $v_{(j)}(k_{j-1} + k)$ - вектори завад вимірювань, $k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1]$, $j = \overline{1, N}$.

Розглянемо область

$$\Omega = \left\{ x_{(0)}^T B_0 x_{(0)} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=0}^{k_j - k_{j-1}} \left[f_{(j)}^T(k_{j-1} + k) B_j(k_{j-1} + k) f_{(j)}(k_{j-1} + k) + v_{(j)}^T(k_{j-1} + k) G_j(k_{j-1} + k) v_{(j)}(k_{j-1} + k) \right] \leq \lambda^2 \right\}, \quad (12)$$

де $\lambda = \text{const} > 0$, $B_0, G_j(k_{j-1} + k), B_j(k_{j-1} + k)$ - додатно означені матриці розмірів відповідно $n_1 \times n_1, m_j \times m_j, n_j \times n_j$, $k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1]$, $j = \overline{1, N}$.

Нехай $x_{(0)}, v_{(j)}(k_{j-1} + k), f_{(j)}(k_{j-1} + k)$, $k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1]$, $j = \overline{1, N}$ належать області Ω .

ЗАДАЧА 2.1.1. Знаючи матриці $A_{(j)}(k_{j-1} + k), H_j(k_{j-1} + k), C_j$, вимірюючи $y_{(j)}(k_{j-1} + k)$, $k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1]$, $j = \overline{1, N}$, а також те, що $x_{(0)}$ і $f_{(j)}(k_{j-1} + k)$ - вибираються з області (12), побудувати фільтр, на виході якого отримаємо $\hat{x}_{(N)}(k_{N-1} + k)$ таке, щоб воно найкращим чином відсліджувало траєкторію системи $x_{(N)}(k_{N-1} + k)$, $\hat{x} \in [0, k_N - k_{N-1} - 1]$.

Іншими словами, ставиться задача про знаходження оптимальної апостеріорної оцінки для станів системи $x_{(N)}(k_{N-1} + k)$, $k_i \in [0, k_N - k_{N-1} - 1]$.

Для розв'язання цієї задачі використовується принцип оптимальності Белмана.

ТЕОРЕМА 2.1.1. Якщо початкові стани, завади спостережень і збурення, які діють на систему (9), (10), (11), належать області Ω , то мінімаксна апостеріорна множина станів системи визначається з нерівності

$$(x_{(0)}(k_{j-1} + k) - \hat{x}_{(0)}(k_{j-1} + k))^T R_j(k_{j-1} + k) \times$$

$$\times (x_{(0)}(k_{j-1} + k) - \hat{x}_{(0)}(k_{j-1} + k)) \leq \lambda^2 - S_j(\hat{x}_{(0)}(k_{j-1} + k), k, j)$$

Тут

$$\hat{x}_{(0)}(k_{j-1} + k) = -\frac{1}{2} R_j^{-1}(k_{j-1} + k) g_{(0)}(k_{j-1} + k),$$

$$S_j(\hat{x}_{(0)}, k, j) = x_j^T R_j(k_{j-1} + k) x_{(0)} + x_j^T g_j(k_{j-1} + k) + p_j(k_{j-1} + k),$$

$$R_j(k_{j-1} + k) = A_j^T(k_{j-1} + k) [E_j - R_j(k_{j-1} + k + 1) B_j^{-1}(k_{j-1} + k)] \times$$

$$\begin{aligned}
& \times R_j(k_{j-1} + k + 1)A_j(k_{j-1} + k) + \\
& + H_j^T(k_{j-1} + k)G_{j2}(k_{j-1} + k)H_j(k_{j-1} + k), \\
g_{(j)}(k_{j-1} + k) &= A_j^T(k_{j-1} + k)[E_j - R_j(k_{j-1} + k + 1)B_j^{-1}(k_{j-1} + k)] \times \\
& \times g_{(j)}(k_{j-1} + k + 1) - 2H_j^T(k_{j-1} + k - 1)G_j(k_{j-1} + k)y_{(j)}(k_{j-1} + k), \\
p_j(k_{j-1} + k) &= p_j(k_{j-1} + k + 1) + \frac{1}{4}g_{(j)}^T(k_{j-1} + k + 1)B_j^{-1}(k_{j-1} + k) \times \\
& \times g_{(j)}(k_{j-1} + k + 1) + y_{(j)}^T(k_{j-1} + k)G_j(k_{j-1} + k)y_{(j)}(k_{j-1} + k), \\
& k = 0, 1, \dots, k_j - k_{j-1} - 1, j = \overline{1, N}.
\end{aligned}$$

Далі розглядається задача побудови мінімаксного фільтра для дискретних систем керування з розгалуженням структур, модель яких записується за допомогою співвідношень (9) - (11) та

$$z_{(j)} = D_j x_{(j)}(k_j) + w_{(j)}, \quad (13)$$

де D_j - відомі дійсні матриці розмірів $r_j \times n_j$, $z_{(j)}$ - вектори результатів спостережень розміру r_j , $w_{(j)}$ - r_j -вимірні вектори завод вимірювань у моменти переключення структур.

Нехай початкові стани, завади вимірювань $v_{(j)}(k_{j-1} + k)$ і $w_{(j)}$ та зовнішні збурення $f_{(j)}(k_{j-1} + k)$, $k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1]$, $j = \overline{1, N}$, належать області

$$\begin{aligned}
\Omega = \{ & x_{(0)}^T B_0 x_{(0)} + \\
& + \sum_{j=1}^N \sum_{k=0}^{k_j - k_{j-1}} [f_{(j)}^T(k_{j-1} + k) B_j(k_{j-1} + k) f_{(j)}(k_{j-1} + k) + \\
& + v_{(j)}^T(k_{j-1} + k) G_{j1}(k_{j-1} + k) v_{(j)}(k_{j-1} + k) + w_{(j)}^T G_{j2} w_{(j)}] \leq \lambda^2 \},
\end{aligned}$$

де $\lambda > 0$ - константа, $B_0, B_j(k_{j-1} + k), G_{j1}(k_{j-1} + k), G_{j2}$ - додатно визначені дійсні матриці відповідно розмірів $n_0 \times n_0$, $n_j \times n_j$, $m_j \times m_j$, $r_j \times r_j$, $k \in [0, k_j - k_{j-1} - 1]$, $j = \overline{1, N}$.

Нехай ми вибрали певний набір $x_{(0)}^T, f_{(j)}(\cdot), v_{(j)}(\cdot), w_{(j)}$ з Ω і отримали результати спостережень. Розглянемо область

$$\begin{aligned} \Omega_1(m) = & \{ (x_{(0)}^T, f_{(1)}^T(k_0), \dots, f_{(1)}^T(k_1-1), \dots, f_{(N)}^T(k_{N-1}), \dots, f_{(N)}^T(k_N-1), \\ & x_{(1)}^T(k_0), \dots, x_{(1)}^T(k_1-1), \dots, x_{(N)}^T(k_{N-1}), \dots, x_{(N)}^T(k_N-1)) : \\ & x_{(0)}^T B_0 x_{(0)} + \sum_{j=1}^{N-1} ((z_{(j)} - D_j x_{(j)}(k_j))^T G_{j1} (z_{(j)} - D_j x_{(j)}(k_j)) + \\ & + \sum_{k=0}^{k_j-k_j-1} (f_{(j)}^T(k_{j-1}+k) B_j (k_{j-1}+k) f_{(j)}(k_{j-1}+k) + \\ & + (y_{(j)}(k_{j-1}+k) - H_j(k_{j-1}+k) x_{(j)}(k_{j-1}+k))^T G_{j2}(k_{j-1}+k) \times \\ & \times (y_{(j)}(k_{j-1}+k) - H_j(k_{j-1}+k) x_{(j)}(k_{j-1}+k))) + \\ & + \sum_{k=0}^m (f_{(N)}^T(k_{N-1}+k) B_N (k_{N-1}+k) f_{(N)}(k_{N-1}+k) + \\ & + (y_{(N)}(k_{N-1}+k) - H_N(k_{N-1}+k) x_{(N)}(k_{N-1}+k))^T \times \\ & \times G_{N2}(k_{N-1}+k) (y_{(N)}(k_{N-1}+k) - \\ & - H_N(k_{N-1}+k) x_{(N)}(k_{N-1}+k)) \leq \mathcal{R} \}, \\ & 0 \leq m \leq k_N - k_{N-1} - 1. \end{aligned}$$

ЗАДАЧА 2.1.2. На $\Omega_1(m)$ визначити точку $\hat{x}_{(N)}(k_{N-1}+k)$ з мінімальною нормою за умови, що початкові значення, завади вимірювань та зовнішні збурення належать області Ω . Тобто знайти оптимальну апостеріорну оцінку для станів $x_{(N)}(k_{N-1}+k)$, $k \in [0, k_N - k_{N-1} - 1]$ системи (21), (22).

ТЕОРЕМА 2.1.2. Якщо початкові значення, збурення, які діють на систему, та завади вимірювань належать області Ω , то мінімаксна апостеріорна множина станів системи (21), (22) визначається нерівністю

$$(x_{(j)}(k_{j-1}+k) - \hat{x}_{(j)}(k_{j-1}+k))^T R_j(k_{j-1}+k) \times \\ \times (x_{(j)}(k_{j-1}+k) - \hat{x}_{(j)}(k_{j-1}+k)) \leq \mathcal{E} - S_j(\hat{x}_{(j)}(k_{j-1}+k), k, j),$$

де

$$\hat{x}_{(j)}(k_{j-1}+k) = -\frac{1}{2} R_j^{-1}(k_{j-1}+k) g_{(j)}(k_{j-1}+k),$$

$$S_j(x_{(j)}, k, j) = x_{(j)}^T R_j(k_{j-1}+k) x_{(j)} + x_{(j)}^T g_j(k_{j-1}+k) + \\ + p_j(k_{j-1}+k),$$

$$R_j(k_{j-1}+k) = A_j^T(k_{j-1}+k) [R_j(k_{j-1}+k+1) - \\ - R_j(k_{j-1}+k+1) B_j^{-1}(k_{j-1}+k) R_j(k_{j-1}+k+1)] \times$$

$$\times A_j(k_{j-1}+k) + H_j^T(k_{j-1}+k) G_{j2}(k_{j-1}+k) H_j(k_{j-1}+k),$$

$$g_{(j)}(k_{j-1}+k) = A_j^T(k_{j-1}+k) [E_j - R_j(k_{j-1}+k) B_j^{-1}(k_{j-1}+k)] \times \\ \times g_j(k_{j-1}+k+1) - 2H_j^T(k_{j-1}+k-1) \times \\ \times G_{j2}(k_{j-1}+k-1) y_{(j)}(k_{j-1}+k),$$

$$p_j(k_{j-1}+k) = p_j(k_{j-1}+k+1) + \frac{1}{4} g_{(j)}^T(k_{j-1}+k+1) B_j^{-1}(k_{j-1}+k) \times \\ \times g_{(j)}(k_{j-1}+k+1) + y_{(j)}^T(k_{j-1}+k) G_{j2}(k_{j-1}+k) y_{(j)}(k_{j-1}+k).$$

ТЕОРЕМА 2.1.3. Якщо $R_j(k_{j-1}+k+1) \neq B_j(k_{j-1}+k)$ і матриці $A_j(k_{j-1}+k)$ неособливі, $k = 0, 1, \dots, k_j - k_{j-1} - 1$, $j = \overline{1, N}$, то $\hat{x}_{(j)}(k_{j-1}+k)$ задовольняє рівняння

$$\hat{x}_{(j)}(k_{j-1}+k+1) = A_j(k_{j-1}+k) \hat{x}_{(j)}(k_{j-1}+k) - \\ - A_j(k_{j-1}+k) [R_j(k_{j-1}+k) - H_j^T(k_{j-1}+k) G_{j2}(k_{j-1}+k) \times \\ \times H_j(k_{j-1}+k)]^{-1} H_j^T(k_{j-1}+k) G_{j2}(k_{j-1}+k) \times$$

$$\begin{aligned} & \times (y_{(j)}(k_{j-1} + k) - H_j(k_{j-1} + k)\hat{x}_{(j)}(k_{j-1} + k)) \\ \text{за умов} \quad & \hat{x}_{(j)}(k_0) = -\frac{1}{2} R_j^{-1}(k_0) g_{(j)}(k_0), \\ & \hat{x}_{(j)}(k_{j-1}) = C_j \hat{x}_{(j-1)}(k_{j-1}), \quad j = 2, \dots, N. \end{aligned}$$

У 2.2 введено абстракції даних та специфікації математичного об'єктно-орієнтованого опису дискретних систем керування, що є одним із етапів розробки програмного забезпечення комплексу комп'ютерного моделювання дискретних систем керування на ЕОМ. Також подається реалізація абстракцій та специфікацій на мові програмування C++.

ТРЕТІЙ РОЗДІЛ присвячено опису алгоритмів та програмного забезпечення підсистеми комп'ютерного моделювання і дослідження керовності, спостережності та побудови оптимальних апостеріорних оцінок для дискретних систем керування на основі відомих раніше та отриманих у дисертаційній роботі результатів.

Розділ складається з двох параграфів.

У 3.1 подано алгоритми дослідження цілком керовності та спостережності систем керування з розгалуженням структур на основі отриманих у дисертаційній роботі критеріїв, алгоритми побудови оптимальних фільтрів-спостерігачів.

У 3.2 описано основні програмні засоби підсистеми комп'ютерного моделювання дискретних систем керування з розгалуженням структур, описано інтерфейс користувача.

У ВИСНОВКАХ наведено основні результати дисертаційної роботи.

У ДОДАТКУ подано лістинги створених програмних засобів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ РОБОТИ:

1. Доведено критерії цілком керовності дискретних лінійних систем керування з розгалуженням структур.
2. Отримано умови цілком керовності інваріантних відносно зміни параметра часу на певних інтервалах дискретних систем з розгалуженням структур.
3. Доведено умови цілком спостережності дискретних лінійних систем керування з розгалуженням структур.
4. Побудовано оптимальний фільтр оцінки станів дискретних систем з розгалуженням структур.
5. Розроблено специфікації математичного об'єктно-орієнтованого опису систем керування з розгалуженням структур.
6. Розроблено комплекс програмних засобів дослідження і проектування дискретних систем керування з розгалуженням структур.

РОБОТИ АВТОРА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Сопронюк Ф.О., Мартинюк С.В. Спостережність і оптимальне регулювання в дискретних системах з розгалуженням структур / Чернівецьк. ун-т, Чернівці, 1996. – 25 с. – Рукопис деп. в ДНТБ України 18. 01. 96, №306 – Ук96.

2. Сопронюк Ф.О., Мартинюк С.В. Алгоритми адаптивного керування для динамічних систем // Тези доповідей VII всесоюзної науково-технічної конференції "Проблеми, задачі та досвід застосування технології розробки та впровадження програмних засобів АСУ ТП" – Чернівці, 1990. – С. 93 – 94.

3. Сопронюк Ф.О., Мартинюк С.В. Про керовність дискретних систем з розгалуженням структур // "Теорія наближення та задачі обчислювальної математики" – Дніпропетровськ, 1993. С.171.

4. Сопронюк Ф.О., Мартинюк С.В. Моделювання дискретних систем зі зміною структур // I-а Українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-94", Київ, 18-23 травня 1994 р.: Тез. доп., Ч. 2. – Київ: Ін-т кібернетики АН України, 1994. С.318.

5. Martynjuk S. Controllability of Digital System with Distributed Structures // Development and Application Systems. Numb. 4. - Suceva (Rom), 1994. - P. 97-102.

6. Сопронюк Ф.О., Мартинюк С.В. Керованість дискретних систем з розгалуженням структур // Матеріали міжн. математичної конф., присвяченої пам'яті Ганса Гана. - Чернівці: Руга, 1995. - С. 283 - 288.

Мартинюк С.В.

Управление и компьютерное моделирование дискретных систем с переменными структурами. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.05.02 - математическое моделирование и вычислительные методы в научных исследованиях. Черновицкий государственный университет, Черновцы. 1996 г.

Исследуются вопросы управляемости, наблюдаемости, построения оптимальных минимаксных фильтров, компьютерного моделирования дискретных систем управления с переменными структурами.

Martynjuk S.V.

Control and computer simulation of diskret systems with variable structures. Manuscript. Thesis for the degree of Candidate of Science (Ph. D) in Physics and Mathematics, speciality 01.05.02 - Mathematical Simulation and Calculating Methods in Scientific Research. Chernivtsi state university, Chernivtsi. 1996.

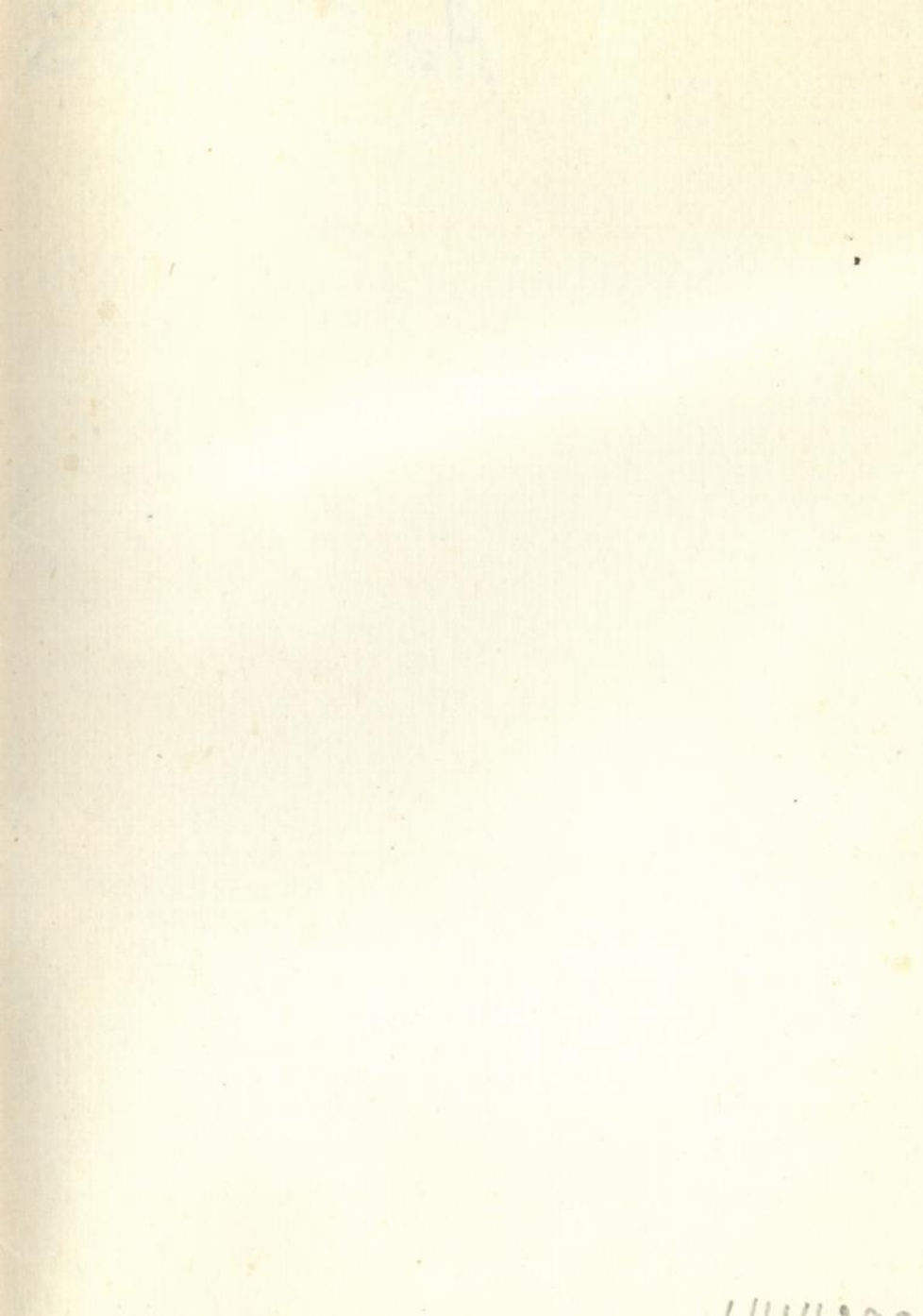
The questions of controllability, observability, optimal minimax filtr, computer simulation of diskret control systems with variable structures are researched.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: система керування з розгалуженням структур; керовність; спостережність; оптимальні апостеріорні оцінки; специфікації; комп'ютерне моделювання.



Ідписано до друку 12.02.96.
Формат 60x84/16. Папір друкарський.
Друк офсетний. Ум.друк.арк. 1,2.
Обл.-вид.арк. 1,2. Тираж 100 прим.
Зам. 031.

Друкарня видавництва "Рута" Чернівецького держуніверситету
274012, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2



AV 34.136