

сільськогосподарських машин. Показано, що зменшення несучої здатності мастильної плівки робочої рідини в процесі експлуатації сільськогосподарських машин визначає, за інших рівних умов, збільшення швидкості зміни об'ємного коефіцієнта корисної дії гідромотора об'ємного гідроприводу трансмісії.

Abstract

ESTIMATION OF INFLUENCE OF LOAD CARRYING CAPACITY OF LUBRICATING FILM OF WORKING LIQUID ON OUTPUT PARAMETERS OF THE TRANSMISSION HYDRODRIVE OF AGRICULTURAL MACHINES

V. Kosolapov, S. Litovka

Experimental researches of influence of load carrying capacity of lubricating film of working liquid for speed of change of volume efficiency of the hydromotor of the transmission hydrodrive of agricultural machines have been executed. It has been shown that reduction of load carrying capacity of lubricating film of working liquid while in service agricultural machines defines, with other things being equal, increase of change rate of volume efficiency of the hydromotor of the transmission hydrodrive.

УДК 621.873

ДИСКРЕТНИЙ МЕТОД СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНИХ КЕРУВАНЬ ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Ловейкін В.С., д.т.н, Ромасевич Ю.О., к.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Приведено метод синтезу оптимального керування, який дозволяє враховувати обмеження накладені на керування та інші динамічні та кінематичні параметри руху системи. Запропоновано ієрархічну структуру роботи системи керування, яка реалізує оптимальне керування на практиці.

Постановка проблеми. Керування у складних технічних ситемах різної фізичної природи має велике значення, оскільки до них ставляться вимоги найбільш раціонального використання ресурсів, вибору найкращих можливостей програм дій тощо. Це пов'язано з тим, що технічні системи „працюють” з високими енергіями, значними швидкостями, швидкоплинними процесами. Усе це визначає проблеми, які становлять предмет теорії оптимального керування.

Аналіз досліджень та публікацій. Загальна постановка задачі оптимального керування така: необхідно знайти оптимальне керування, яке знаходиться у області допустимих керувань і яке переводить технічну систему з одного стану у інший при екстремізації деякого критерію, який відображає

бажані або небажані показники роботи системи. В залежності від областей початкового та кінцевого стану (у частинному випадку область може перетворюватись на точку), виду оптимізаційних критеріїв (функціональний, термінальний критерій), області допустимих керувань (відкрита, замкнута) задача оптимального керування отримує той чи інший сенс.

Існує декілька математичних методів розв'язування задач оптимального керування: варіаційне числення [1], принцип максимуму [2], динамічне програмування [3]. Два останні методи були розроблені у 50-х роках минулого сторіччя у зв'язку з тим, що область допустимих керувань для більшості технічних систем є замкнутою. Це обмеження не дає змогу використати класичне варіаційне числення для розв'язування подібних задач.

Принцип максимуму дозволяє оптимізувати оптимальне керування у функції часу. Таке керування прийнято називати П-керуванням [4]. За допомогою динамічного програмування можна отримати С-керування [4], яке є функцією часу та фазових координат технічної системи. Це є перевагою, оскільки на систему у процесі її руху можуть справляти вплив стохастичні збурення. Крім того, параметри системи не завжди вдається точно визначити. Все це впливає на кінцевий стан системи та на величину оптимізаційного критерію. Однією з властивостей С-керування є те, що воно автоматично „враховує” всі стохастичні збурення та неточності моделі і завжди „веде” систему по оптимальній траєкторії. Крім того, якщо відома математична модель технічної системи, то з С-керування можна отримати П-керування (наприклад, підставивши його у праву частину диференціального рівняння і розв'язавши це рівняння).

Недоліком методу динамічного програмування є складність розрахунків при синтезі оптимального керування [5]. Якщо область допустимих керувань є замкнутою, то визначити оптимальне керування за допомогою динамічного програмування надзвичайно складно.

Постановка мети дослідження. Метою дослідження є виклад методики синтезу оптимального дискретного керування за допомогою динамічного програмування, а також виклад пропозицій щодо практичного використання отриманого оптимального керування. Відповідно до мети ставляться такі задачі: 1) викласти методику синтезу оптимального керування при якій би враховувалось обмеження накладене на керування рухом технічної системи; 2) привести алгоритм роботи програми, яка б дозволила реалізувати оптимальне керування на практиці.

Виклад основного матеріалу.

1. Синтез оптимального керування

Нехай потрібно перевести систему з стану x_0 у стан x_T (x_0 - це вектор початкових, а x_T - кінцевих фазових координат системи). Керування обмежене деякою областю: $u \in \Omega_u$ (Ω_u - це область допустимих керувань). На траєкторії

руху системи необхідно мінімізувати критерій
$$I = \int_0^T \left[\sum_{i=1}^n \delta_i^i(x)^2 + \sum_{j=1}^m \delta_j^j(u)^2 \right] dt \quad (x$$

- це i -та похідна від вектору фазових координат; u^j - j -та похідна від вектору фазових координат; δ_i - ваговий коефіцієнт, який враховує частку одиничного критерію $(x^i)^2$; δ_j - ваговий коефіцієнт, який враховує частку одиничного критерію $(u^j)^2$). Необхідно знайти оптимальне керування \tilde{u} при якому $I \rightarrow \text{extr}$. Така задача отримала назву аналітичного конструювання регулятора.

Зауважимо, що при досить великій розмірності вектора x та при врахуванні обмеження $u \in \Omega_u$ розв'язок такої задачі не завжди вдається знайти у аналітичному вигляді. Тому використовують чисельну (ітераційну) процедуру динамічного програмування. Однак, автор методу динамічного програмування Р.Беллман у праці [6] справедливо відзначає „прокляття розмірності” методу – ітераційна процедура знаходження оптимального керування вимагає великої кількості об'єму пам'яті ЕОМ, що навіть при сучасних засобах мікропроцесорної техніки не завжди вдається досягти (особливо при великій кількості фазових координат). Були запропоновані модифікації методу динамічного програмування (широкий огляд та аналіз деяких з цих методів можна знайти у праці [7]), які ціною відмови від знаходження глобального мінімуму критерію I дозволяли знаходити локально-оптимальне керування при зменшенні необхідного об'єму пам'яті ЕОМ.

Запропонуємо інший підхід до задачі аналітичного конструювання регулятора. Спочатку розглянемо задачу у відкритій області керувань. Відомо [3], що для мінімізації інтегрального критерію необхідно розв'язати нелінійне диференціальне рівняння у частинних похідних (рівняння Беллмана):

$$\min \left[G + \frac{\partial S}{\partial x} f(x, u) \right] = 0 \quad (\text{тут } G - \text{підінтегральний вираз критерію } I; S - \text{функція}$$

Беллмана; f - задана функція своїх аргументів – права частина рівняння-моделі руху технічної системи). Розв'язок цього рівняння прийнято шукати у вигляді квадратичної форми від фазових координат системи $S = S(x)$ [8]. У цьому випадку отримавши функцію S можемо знайти шукане оптимальне керування $\tilde{u} = \tilde{u}(\tilde{x}, \delta_i, \delta_j, t)$. Якщо оптимальне керування задовольняє умову $\tilde{u} \in \Omega_u$, то на цьому задача розв'язана. Якщо $\tilde{u} \notin \Omega_u$, то необхідно таким чином підібрати δ_i та δ_j , щоб забезпечити виконання цієї умови, при цьому вагові коефіцієнти є постійними.

Однією з особливостей оптимального керування $\tilde{u} = \tilde{u}(\tilde{x}, \delta_i, \delta_j, t)$ є те, що при $\tilde{x}(t) \rightarrow x_T$ (розглядається прикінцевий період руху системи, коли її стан стає близьким до кінцевого) керування $\tilde{u} \rightarrow 0$. Назвемо таке керування слабким. Отже, якщо на систему діє слабке керування, то зміна стану системи у бік кінцевого бажаного стану буде проходити повільно. Це є недоліком С-керування. Для „форсування” процесу досягнення x_T необхідно зменшити $\delta_{j=0}$. Дійсно, зменшення $\delta_{j=0}$ призведе до того, що керування може бути більшим і при цьому

воно не значно вплине на величину критерію I , оскільки множник $\delta_{j=0}$, який стоїть при керуванні є малим. З іншого боку зменшення $\delta_{j=0}$ призведе до збільшення δ_i , оскільки ці коефіцієнти пов'язані рівнянням $\sum_{i=1}^n \delta_i + \sum_{j=1}^m \delta_j = 1$.

Тому навіть невелике відхилення $\tilde{x}(t)$ від x_T призведе до значного збільшення критерію I . Якщо у задачі стоїть обмеження на похідні керування більш високого порядку, то варіації підлягають вагові коефіцієнти δ_j при $j > 0$. Отже необхідно знайти вже не постійне значення вагових коефіцієнтів а їх функції: $\delta_i = \delta_i(u, x, x_T, \Omega_u)$, $\delta_j = \delta_j(u, x, x_T, \Omega_u)$ для усього проміжку руху системи $t \in [0, T]$. На ці функції накладене обмеження $\delta_i + \delta_j = 1$. Аналітичне знаходження таких функцій представляє значні обчислювальні труднощі враховуючи, що ці функції можуть бути кусочними. Однак ці труднощі зникають, якщо вихідну задачу представити у дискретному вигляді. Крім того, таке представлення є „природним” для ЕОМ і у подальшому може спростити процес переведення результатів розрахунків у машинний код. Отже будемо розглядати лише дискретні значення керування, фазових координат та вагових коефіцієнтів. Опишемо процедуру (алгоритм) дискретного синтезу оптимального керування на одному кроці (при переході від $t = n\Delta t$, до $t = (n + 1)\Delta t$):

1) задають значення δ_i якнайбільші (тобто $\sum_{i=1}^n \delta_i \rightarrow 1$), а δ_j - якнайменші ($\sum_{j=1}^m \delta_j \rightarrow 0$). При цьому керування та його вищі похідні стають великими.

Система буде швидко змінювати свій стан;

2) обчислюють $\tilde{u} = \tilde{u}(\tilde{x}, \delta_i, \delta_j, t)$ і перевіряють умову $\tilde{u} \in \Omega_u$. Якщо умова виконується то переходять до іншого кроку (до $t = (n + 1)\Delta t$);

3) якщо умова $\tilde{u} \in \Omega_u$ не виконується, то збільшують $\delta_{j=0}$ допоки вона не виконається (збільшення $\delta_{j=0}$ призведе до того, що керування зменшиться, оскільки стане великою його „вага” у критерії I). Збільшення $\delta_{j=0}$ робиться дискретно: $\delta_{j=0} := \delta_{j=0} + \Delta\delta$ (тут $\Delta\delta$ - приріст вагового коефіцієнту). Звичайно, бажано, щоб $\Delta\delta$ був якомога меншим, оскільки необхідно знайти керування точно на межі області Ω_u . При цьому воно буде достатньо сильним і система буде швидше рухатись до свого кінцевого стану x_T . Можна зробити припущення: при $\Delta\delta \rightarrow 0$ керування \tilde{u} буде прямувати до границі області Ω_u . Однак таке припущення повинно бути математично обґрунтованим.

Виконання умови $\tilde{u} \in \Omega_u$ сигналізує про позитивний результат обчислення вагових коефіцієнтів. Надалі програма дій повторюється для наступного кроку $t = (n + 1)\Delta t$.

У результаті роботи такого алгоритму отримуємо масив значень

керувань та масив значень вагових коефіцієнтів, при яких оптимальне керування не буде виходити за межі допустимої області і процес руху системи з x_0 у x_T буде проходити якомога інтенсивніше.

Що стосується стохастичних впливів, то вони не вносять похибок у роботу системи автоматичного керування якщо замкнути цю систему по параметрам фазових координат x (або інших величин їм пропорційних). У цьому випадку при обчисленні керування \tilde{u} на другому етапі алгоритму необхідно використовувати дійсні значення фазових координат x^* , отже $\tilde{u} = \tilde{u}(\tilde{x}^*, \delta_i, \delta_j, t)$.

2. Практична реалізація оптимального керування

Для практичної реалізації оптимального керування необхідно побудувати мехатронну систему структурна схема якої показана на рис. 1.

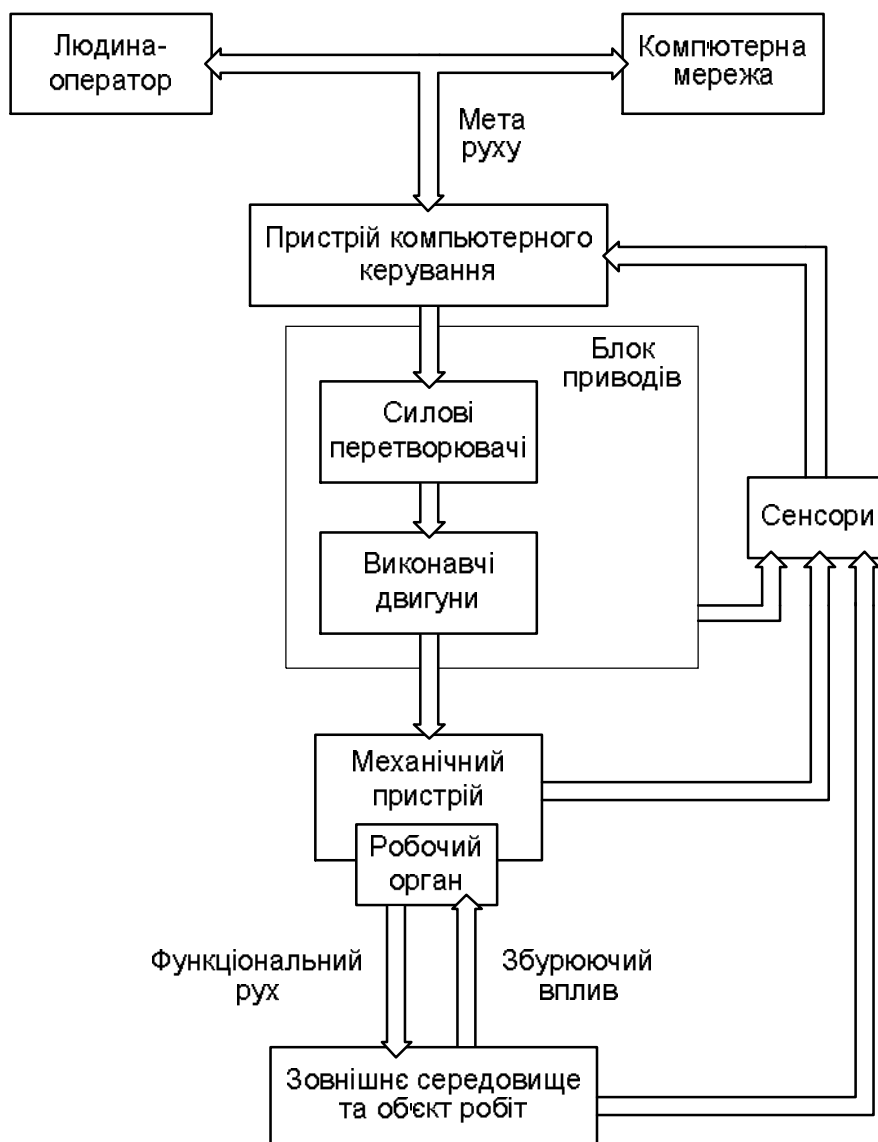


Рис. 1 – Узагальнена схема технічних систем з комп'ютерним керуванням руху.

Сучасні складні системи керування технічними системами виконуються багаторівневими (ієрархічними). Тут переслідуються мета розбити вихідну складну задачу на декілька простіших. Розглянемо ієрархію рівнів керування

системою, яка полягає у тому, що нижчі рівні повністю підпорядковуються вищим. Вищі рівні керування більш „інтелектуальніші”, вони вирішують більш складніші задачі керування системою [9].

На вищому, інтелектуальному рівні приймається рішення про виконання технологічного руху. При цьому система опитує відповідні датчики для зчитування параметрів руху, а людина чи комп'ютерна мережа найвищого рівня задає координати точки куди необхідно перемістити робочий орган машини.

На нижчому, стратегічному, рівні відбувається планування технологічного руху, що означає розбиття задачі руху на послідовність узгоджених у часі елементарних дій. Тобто на цьому рівні вирішується задача геометричного планування руху робочого органу. Саме на цьому рівні необхідно використовувати синтезоване керування. Система керування обраховує оптимальне керування у вигляді масиву дискретних даних (масиву даних). Такий обрахунок ведеться перед початком руху робочого органу. У випадку коли на робочий орган зовнішнє середовище справляє значний вплив необхідно його враховувати. Тоді розрахунок оптимального керування необхідно проводити за фактичними координатами (швидкостями, прискореннями) руху системи. Звичайно для цього необхідно використовувати зворотні зв'язки за відповідними параметрами.

Головна задача наступного, тактичного, рівня полягає у видачі програми керування для кожного приводу на виконавчий рівень. При цьому визначаються закони узгодженого руху всіх ланок машини з врахуванням кінематичних та динамічних характеристик, обмежень технологічного характеру тощо.

На найнижчому, виконавчому, рівні проходить розрахунок та видача керуючих сигналів на блок приводів. Призначення цього рівня керування полягає у забезпеченні заданих вимог по стійкості, точності руху, якості перехідних процесів.

Висновок. Використання методу динамічного програмування дозволяє ефективно розв'язувати задачі оптимального керування при відсутності обмежень на керування. Для врахування цих обмежень необхідно провести дискретизацію вихідної задачі та використати алгоритм пошуку величин вагових коефіцієнтів, які входять у структуру оптимізаційного критерію. Така методика розв'язання задач оптимального керування поєднує властивості аналітичних та наближених методів розв'язування задач оптимального керування.

Реалізація оптимального дискретного керування може бути виконана за допомогою системи керування рухом, яка побудована за ієрархічним принципом. При роботі робочого органу у недетермінованих зовнішніх середовищах необхідно вводити у систему керування зворотні зв'язки та проводити синтез оптимального керування з врахування фактичних координат руху системи.

Список використаної літератури

1. Петров Ю.П. Вариационные методы теории оптимального управления. – Л.: Энергия, 1977. – 280 с.
2. Понтрягин Л.С., Болтнянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Физматгиз, 1961. – 392 с.
3. Беллман Р. Динамическое программирование. – под. ред. Воробьева Н.Н. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960. – 400 с.
4. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. – М.: Высшая школа, 2003. – 614 с.
5. Олейников В.А., Зотов Н.С., Пришвин А.М. Основы оптимального и экстремального управления. – М.: Высшая школа., 1969. – 269 с.
6. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования / [перевод с англ. Митрофановой, Н.М., Первозванского А.А., Хусу А.П., Шалаевского О.В.] – М.: Наука, 1965. – 460 с.
7. Вычислительные и приближенные методы оптимального управления. Черноусько Ф.Л., Колмановский В.Б. Итоги науки и техники. Серия Математический анализ. - 1977, Т 14, С. 101–166.
8. Динамика полета и управление. Летов А.М. – М.: Наука, 1969. – 360 с.
9. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники / Е.П. Попов, Г.В. Письменный. – М.: Высшая школа, 1990. - 224 с.

Аннотация

ДИСКРЕТНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ УПРАВЛЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Ловейкин В., Ромасевич Ю.

Приведен метод синтеза оптимального управления, который разрешает учитывать ограничение наложенное на управление и другие динамические и кинематические параметры движения системы. Предложена иерархическая структура работы системы управления, которая реализует оптимальное управление на практике.

Abstract

DISCRETE ALGORITHM OPTIMAL CONTROL TECHNICAL SYSTEM

V. Loveykin, Yu. Romasevich

The method of synthesis of optimum control which allows to consider restriction imposed on management both other dynamic and kinematic parameters of movement of system is resulted. The hierarchical structure of work of a control system which realizes optimum control in practice is offered.