

УДК 681.515

А.А.Манькут, О.О.Смолянкін, О.М.Решетило
Луцький національний технічний університет**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСАМИ**

В статті наведено порівняння методів регулювання об'єктів на основі законів ПІД-регулювання, правил нечіткої логіки та SWITCH-технології. Зазначено основні переваги і недоліки вищезазначених методів.

Ключові слова: ПІД-регулятори, нечітка логіка.

Максимально автоматизоване керування та регулювання різних систем в наш час стало чи не найголовнішим напрямком розвитку техніки і технологій. Для кожного випадку вибираються відповідні пристрої чи методи. Далі розглянемо детальніше деякі з них, а саме – ПІД-регулювання, SWITCH-технологію та методи нечіткої логіки.

1.1. ПІД-регулятори: принципи побудови і модифікації

Одним з основних елементів, які входять до системи регулювання, є автоматичний регулятор– пристрій, що змінює або стабілізує вихідну величину об'єкта регулювання за заданим алгоритмом шляхом впливу на його вхідну величину.

За однією з класифікацій регулятори поділяють на екстремальні і стабілізаційні. Екстремальні регулятори можуть використовуватися на об'єктах, що характеризуються екстремальною статичною характеристикою, положення якої в координатному просторі в залежності від зовнішніх впливів дрейфує у часі. Найбільше поширення отримали стабілізуючі регулятори.

У залежності від виду функції регулювання стабілізуючі регулятори класифікуються на інтегральні (І), пропорційні (П), пропорційно-інтегральні (ПІ), пропорційно-диференціальні (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД). Закон регулювання формується за допомогою зворотних зв'язків. З урахуванням динамічних властивостей об'єкта керування він визначає вид і якість перехідного процесу в САР.

Розглянемо детальніше закон регулювання і динамічну характеристику регулятора, що нас цікавить [1].

П- і ПІ-регулятори не можуть попереджувати очікуване відхилення регульованої величини, реагуючи тільки на вже наявне відхилення. Виникає необхідність в регуляторі, який виробляв би додаткову регулюючу дію пропорційну швидкості відхилення регульованої величини від заданого значення:

$$\mu_d = T_d \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (1.1)$$

Така регулююча дія використовується в диференціальних і ПІД-регуляторах. ПІД-регулятори впливають на об'єкт пропорційно відхиленню регульованої величини, інтегралу від цього відхилення і швидкості зміни регульованої величини:

$$\mu_A = k_p \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_I} \int_0^t \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (1.2)$$

За можливостями ПІД-регулятори є універсальними. Використовуючи їх, можна отримати будь-який закон регулювання. Структурна схема і закон регулювання ідеального ПІД-регулятора приведені на рисунку 1.1.

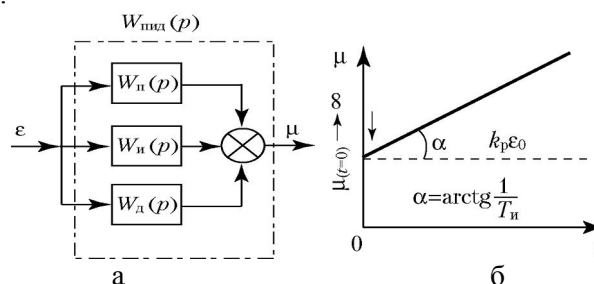


Рис. 1.1. Структурна схема ПІД-регулятора (а) і закон ПІД-регулювання (б)

Модифікацій ПІД-регуляторів є кілька. Розглянемо коротко деякі з них.

Регулятор відношень. Завдання регулювання відношин виникає, коли важливо підтримувати не абсолютні значення параметрів, а співвідношення між ними. Наприклад, якщо вирішується завдання змішування компонентів в заданих пропорціях, підтримується горіння із заданим процентним вмістом кисню в горючій суміші і т.п.

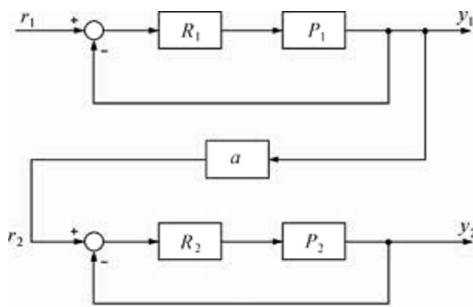


Рис. 1.2. ПІД-регулятор відношень $y_2/y_1 = a$

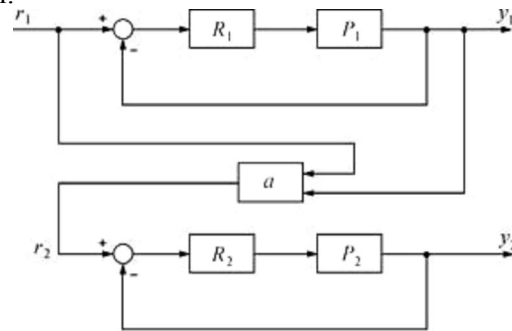


Рис. 1.3. ПІД-регулятор відношень $y_2/y_1 = a$ зі збільшеною швидкістю

Регулятор з внутрішньою моделлю. Важливою особливістю регулятора з внутрішньою моделлю є можливість настройки робастності незалежно від вибору решти параметрів регулятора. Для цього вибирають відповідний фільтр F або параметр TF для фільтру першого порядку. Регулятор з внутрішньою моделлю може дати дуже хорошу реакцію на зміну уставки, однак реакція на зовнішні збурення може бути дуже сповільненою.

Проектування регулятора з внутрішньою моделлю проходить таким чином. Спочатку знаходять і оптимізують зворотну модель $Q(s)$, виходячи з вимог до якості перехідного процесу при зміні уставки і не звертаючи уваги на робастність. Для отримання початкового наближення $Q(s)$ припускають, що $M(s)=P(s)$, і використовують методи звернення динамічного оператора. Єдиним обмеженням при оптимізації передаточної функції $Q(s)$ є вимога її асимптотичної стійкості. Після цього вибирають структуру і параметри фільтру $F(s)$, добиваючись необхідною робастності системи при заданій швидкодії. Оскільки в ідеальному випадку властивості замкнутої системи визначаються характеристикою вибраного фільтру, його гранична частота в цьому випадку визначає швидкість всієї замкнутої системи.

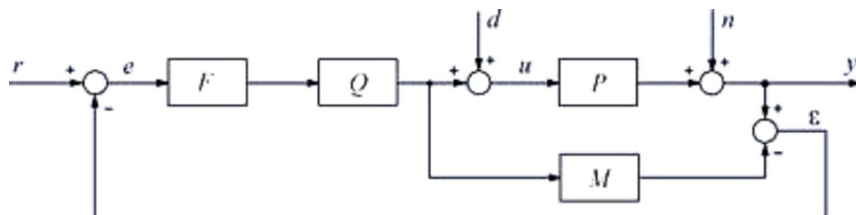


Рис. 1.4. Регулятор з внутрішньою моделлю M у складі замкнутої системи

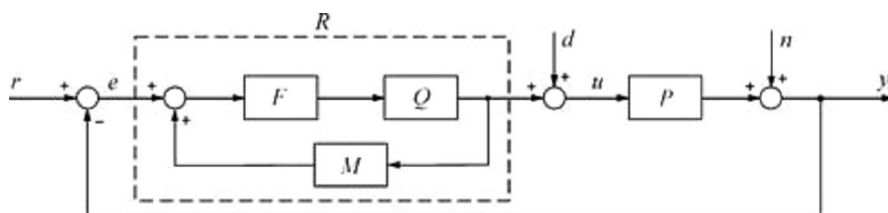


Рис. 1.5. Регулятор з внутрішньою моделлю M в класичній формі уявлення (з регулятором R) у складі замкнутої системи

1.2. Нечітка логіка в ПІД-регуляторах

Нечітке управління (управління на основі методів теорії нечітких множин) використовується при недостатньому знанні об'єкта управління, але наявності досвіду управління ним, в нелінійних системах, ідентифікація яких дуже трудомістка, а також у випадку, коли за умовою завдання необхідно використовувати знання експерта. Прикладом може бути доменна піч або колона

ректифікації, математична модель яких містить багато емпіричних коефіцієнтів, що змінюються в широкому діапазоні і викликають великі ускладнення при ідентифікації. В той же час, кваліфікований оператор достатньо добре управляє такими об'єктами користуючись свідченнями приладів і накопиченим досвідом.

ПІД-регулятори з нечіткою логікою в даний час використовуються в комерційних системах для наведення телекамер при трансляції спортивних подій, в системах кондиціонування повітря, при управлінні автомобільними двигунами, для автоматичного управління двигуном пирососа і в інших областях.

1.3. Переваги і недоліки ПІД-регуляторів

ПІД-регулятори, що були описані вище мають погані показники якості при управлінні нелінійними і складними системами, а також при недостатній інформації про об'єкт управління. Характеристики регуляторів в цих випадках можна поліпшити за допомогою методів нечіткої логіки, нейронних мереж і генетичних алгоритмів. Перераховані методи за кордоном називають "soft-computing", підкреслюючи їх відмінність від "hard-computing", що полягає в можливості оперувати з неповними і неточними даними. У одному контролері можуть застосовуватися комбінації перерахованих методів (фаззі-ПІД, нейро-ПІД, нейро-фаззі-ПІД-регулятори з генетичними алгоритмами).

Основним недоліком нечітких і нейромережових контролерів є складність їх настройки (складання бази правил і навчання нейронної мережі) [2].

1.4. SWITCH - технологія

Switch-технологія - технологія для підтримки автоматного програмування (технологія автоматного програмування), що була запропонована А.А. Шалито в 1991 році [10]. Вона охоплює специфікацію, проектування, реалізацію, налагодження, верифікацію, документування та супровід програм. При цьому під терміном "автоматні програмування" розуміється не тільки побудова і реалізація кінцевих автоматів для використання в програмах, але і проектування і реалізація програм в цілому, поведінка яких описується автоматами.

Основна ідея викладається підходу полягає в тому, що програми пропонується створювати так само, як здійснюється автоматизація технологічних (і не тільки) процесів. При цьому на основі аналізу предметної області виділяються джерела вхідних впливів і автоматизовані об'єкти, кожен з яких містить систему управління (систему взаємодіючих кінцевих автоматів) і об'єкт управління. Цей об'єкт реалізує вихідні впливу і формує значення другого різновиду вхідних впливів, які від нього передаються по зворотним зв'язкам до системи управління.

Об'єкт управління може бути фізичним або реалізованим програмно. У першому випадку його логіка змінена бути не може, а в другому - вона, при необхідності, практично вся може бути винесена в автомати. Віртуальні об'єкти управління, як і система управління, можуть бути реалізовані за допомогою даної технології.

Парадигма автоматного програмування полягає в представленні програм як систем автоматизованих об'єктів.

Автоматне програмування дозволяє підвищити рівень абстракції не тільки в частині виконуваних операцій, але і при описі поведінки програм. У рамках автоматного підходу об'єкти управління можуть виконувати як завгодно складні дії, а система управління може містити не один автомат, а систему взаємопов'язаних автоматів. Це дозволяє застосовувати даний підхід на практиці.

Застосування підходу забезпечується тим, що:

- При проектуванні програм виділяються процеси [11] (режими), кожен з яких описується кінцевим автоматом.

- Кожен процес (автомат) у загальному випадку може бути декомпонований на "дрібніші" процеси (автомати).

- Кожен процес (автомат) описується в термінах станів і переходів між станами.

- Кожен стан в загальному випадку може бути декомпонований на "дрібніші" стани.

- Взаємодія автоматів здійснюється "прив'язкою" одних автоматів до станів і/або переходах інших автоматів.

- Стани декомпонують безліч вхідних впливів, що забезпечують переходи, на групи, кожна з яких визначає переходи з відповідного стану.

- Номенклатура вихідних впливів автоматів, що реалізуються об'єктами управління, не фіксована і визначається предметною областю.

- Вихідні впливи не є процесами або не розглядаються як процеси.
- Вихідні впливи «прив'язуються» до станів і/або переходів автоматів.
- При спільному використанні об'єктної і автоматної парадигм програмування вдається в наочній формі описувати статичні і динамічні властивості програм.
- Об'єктна декомпозиція дозволяє ефективно реалізувати автоматні програми.
- Багаторівнева декомпозиція на базі кінцевих автоматів, виконувана як описано вище, підтримує основний принцип зменшення складності програм ("розділай і володарюй") і дозволяє візуально конструювати програми зі складною поведінкою.

Застосування Switch-технології стримується тим, що багато хто вважає, що область застосування автоматів в програмуванні добре відома і є достатньо вузькою, а їх функціональність мала. Традиційно з цього приводу висувуються такі міркування:

- Автомати мають малу обчислювальну потужність, тому що вони дозволяють описувати тільки регулярні мови.
- Автомати є однією з моделей дискретної математики, яка нарівні з іншими застосовується при необхідності.

Всі ці твердження, безумовно, вірні. Однак, жодне з них не перешкоджає використанню автоматного програмування при створенні систем зі складною поведінкою в різних предметних областях, тим більше, що автомати застосовуються при проектуванні пристроїв обчислювальної техніки (наприклад, лічильників) і при програмуванні апаратних реалізацій на великих інтегральних схемах, для опису в мові UML життєвого циклу об'єктів при моделюванні об'єктно-орієнтованих програм [12], при програмуванні компіляторів і протоколів.

SWITCH-технологія використовується в чотирьох напрямках:

- Логічне керування (події відсутні, вхідні і вихідні змінні двійкових).
- Програмування з явним виділенням станів.
- Об'єктно-орієнтоване програмування з явним виділенням станів.
- Обчислювальні алгоритми (алгоритми дискретної математики).

1.5. Введення в нечіткі системи

Математична теорія нечітких множин (fuzzy sets) і нечітка логіка (fuzzy logic) є узагальненнями класичної теорії множин і класичної формальної логіки. Дані поняття були вперше запропоновані американським ученим Лотфі Заде (Lotfi Zadeh) в 1965р. Основною причиною появи нової теорії стала наявність нечітких і наближених міркувань при описі людиною процесів, систем, об'єктів.

Перш ніж нечіткий підхід до моделювання складних систем отримав визнання у всьому світі, пройшло не одне десятиліття з моменту зародження теорії нечітких множин. І на цьому шляху розвитку нечітких систем прийнято виділяти три періоди.

Перший період (кінець 60-х–початок 70 рр.) характеризується розвитком теоретичного апарату нечітких множин (Л. Заде, Э. Мамдані, Беллман). У другому періоді (70–80-і роки) з'являються перші практичні результати в області нечіткого управління складними технічними системами (парогенератор з нечітким управлінням). Одночасно почала приділятися увага питанням побудови експертних систем, побудованих на нечіткій логіці, розробці нечітких контролерів. Нечіткі експертні системи для підтримки ухвалення рішень знаходять широке застосування в медицині і економіці. Нарешті, в третьому періоді, який триває з кінця 80-х років і продовжується в даний час, з'являються пакети програм для побудови нечітких експертних систем, а області застосування нечіткої логіки помітно розширюються. Вона застосовується в автомобільній, аерокосмічній і транспортній промисловості, в області виробів побутової техніки, у сфері фінансів, аналізу і ухвалення управлінських рішень і багато інших.

Тріумфальний хід нечіткої логіки у світі почався після доведення в кінці 80-х Бартоломеем Косько знаменитої теореми FAT (Fuzzy Approximation Theorem). У бізнесі і фінансах нечітка логіка отримала визнання після того, як в 1988 році експертна система на основі нечітких правил для прогнозування фінансових індикаторів єдина передбачила біржовий крах. І кількість успішних фаззі-застосувань в даний час обчислюється тисячами [3].

В даний час термін «нечіткість» все більше притягує увагу спеціалістів, що розробляють різні соціальні системи. Але виникає підозра, що більш глибоке вивчення теорії, пов'язаної з цим терміном, спеціалістам недоступно. В загальному випадку в будь-якій області знань поява нових ідей створює стимули до переосмислення цілей і задач. Але якщо фундамент закладений і наступив період розвитку, багато задач сприймаються як вже вирішені і спеціалісти починають

звертати увагу на передові ідеї і технології. Але при цьому не варто забувати про базові задачі. Розуміння цього факту породжує нові теми досліджень. Далі для підтвердження цієї думки наведу фундаментальні нечіткі проблеми [6].

Отже, чим складніше саме суспільство, тим більше з'являється різних законів (все систематизується і раціоналізується), і це обмежує можливості людини.

Поговоримо спочатку про штучний інтелект – авангард науки і техніки. Штучний інтелект ставить своєю метою реалізацію функцій мислення людини за допомогою комп'ютера, і багато дослідників вірять в наближення успіху. Завжди наука і техніка розвивалась вважаючи критерієм логічну послідовність. З фізіології головного мозку відомо, що логіка пов'язана з діяльністю лівої півкулі. Права півкуля керує зором, слухом, інтуїцією, емоціями та іншими почуттями. Наприклад, уява, відкриття, творчість та багато іншого вважається найвищою діяльністю людини.

Певна неврівноваженість техніки, яка існує на даний час, виникла внаслідок того, що сучасна наука повністю позбавлена «правостороннього» мислення. Необхідно, щоб в майбутніх технологіях при вирішенні проблем визнавалось існування протиріч [5].

Наука і техніка повністю заперечує суб'єктивізм, але ж нові відкриття і винаходи народжуються в результаті діяльності правої півкулі мозку людини, що основана на суб'єктивних думках, а об'єктивізація і логічне обґрунтування – всього лише вторинні засоби для передачі ідей іншій людині. Більше того, навіть в процесі об'єктивізації надзвичайно корисний прояв суб'єктивізму.

Питання про те, як обробляти нечіткості, перекликається з питанням про те, яким чином ввести в науку і техніку суб'єктивізм людини. І тут не обійтись без нечітких множин. Це математичний метод, створений для того, щоб представляти змістові нечіткості слів людини, це унікальний метод з точки зору надання можливостей математично обробляти суб'єктивні дані.

Наведемо приклади людино-машинних систем, які призначені для обробки нечітких знань. В технічних областях – автоматичне управління високого рівня, автоматичний переклад, інтелектуальні роботи, системи підтримання цілісності баз даних і системи забезпечення безпеки, розпізнавання зображень і мови, автоматичне проектування, пошук інформації, бази знань, інтелектуальні термінали, автоматизація домашніх робіт та ін. В сфері бізнесу – допомога в прийнятті економічних рішень, маркетинг, поради по капіталовкладенню, різного роду управління і планування, управління системами, допомога в підготовці контрактів та ін. Крім того, оцінка стану навколишнього середовища, аналіз ризику, передбачення землетрусів, прогнози погоди для сільського господарства, геологічна зйомка, оцінка якості сільськогосподарських продуктів, системи самонавчання, дегустація, обробка даних аналізу і т.д.

В даний час намітилась тенденція застосування теорії нечітких множин в гуманітарних науках і в соціології. В найближчому майбутньому моделі діяльності людини, моделі мислення, психологічні моделі, моделі надійності, економічні моделі, які будуть активно використовуватись в навчанні, законодавстві, соціопитуваннях та інших проблемах, аналізі і оцінці даних.

Теорія нечітких множин, можливо, зіграє велику роль при вирішенні таких проблем, як представлення і набуття макрознань, методи макромислення (макрорисновки), формати даних для стимуляції правої півкулі, ототожнення функцій приналежності, прогнозування технічних характеристик систем, систематичні методи проектування і т.д.

1.6. Практичне застосування ПІД-регуляторів з нечіткою логікою

Регулятор температури МіКРА 602 призначений для застосування в системах автоматичного регулювання температури за пропорційно-інтегрально-диференціальним законом регулювання. Регулятор має два незалежних канали регулювання з автоматичною настройкою параметрів ПІД-закону по кожному каналу.



Рис. 1.6. Двоканальний мікропроцесорний ПІД-регулятор температури МіКРА 602

В якості датчиків температури застосовуються термоелектричні перетворювачі (термопари) типу ХК (L), ХА (K), РК (J). В якості вихідних комутуючих елементів в регуляторі використовуються напівпровідникові семістори з детекторами нульової напруги фази, які гальванічно розв'язані від внутрішніх ланцюгів регулятора. Регулятор може використовуватися для комутації ланцюгів змінного струму напругою 12 - 250 В і частотою 50 - 60 Гц, в тому числі напівпровідникових семісторів і тиристорів.

За наявності перемички "відхилення" на задній панелі регулятора через 5 секунд після останнього натискання кнопок регулятор переходить у режим індикації відхилення температури від заданої по обох каналах одночасно. При цьому в лівій частині індикатора відображається значення відхилення по першому каналу, в правій - з другого. Діапазон індукованих значень від - 19 ° С до +19 ° С. При виході температури за вказаний діапазон відображається знак перевищення "- П" або "П".

Якщо вимкнено режим індикації відхилення температури від заданої, то на індикаторі відображається абсолютне значення температури по одному з каналів. При цьому номер каналу відображається в лівому розряді індикатора символами "|" і "||" для першого і другого каналів відповідно.

Налаштування параметрів регулювання проводиться автоматично незалежно в кожному каналі. Процес самонастроювання включається, якщо в момент включення живлення або при зміні заданої температури реальна температура нижче заданої на деяку величину, яка визначається з поточних параметрів налаштування. Процес настроювання відбувається по кривій розгону до моменту виходу на задану температуру. Завдяки застосуванню принципів нечіткої логіки (Fuzzy logic) якість установки буде краще з кожним циклом самонастроювання.

1.7. Завдання та цілі роботи

На даний час перед нами постає проблема отримання необхідного результату, але з меншими затратами, ніж були можливі до цього. Тобто, головною метою роботи є отримати промисловий контролер, який діє на принципах нечіткої логіки, з вже існуючого за допомогою створення необхідного програмного забезпечення.

1. Папушин Ю.Л., Білецький В.С. Основи автоматизації гірничого виробництва. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. – 180с.
2. Виктор Денисенко ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации.- Часть 2. – СТА1/2007, 78-88с.
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432с., ил.
4. Накамура и др. Нечеткие знания – развитие новых идей. – Токио: Никкан коге симбунся, 1989.
5. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон./ К.Асаи, Д.Ватада, С.Иваи и др.; под редакцией Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с., ил.
6. Zadeh L.A. Outline of new approach to the analysis of complex systems and decision process//IEEE Trans. on SMC. – 1973.
7. Mizumoto M., Zimmermann H.J. Comparison of fuzzy reasoning methods//Fuzzy Sets and Systems. – 1982.
8. Zadeh L.A. Fuzzy set//Informayio and control. – 1965.
9. Шалыто А.А. Программная реализация управляющих автоматов //Судостроительная промышленность. Серия «Автоматика и телемеханика».- 1991.- Вып.13. С.41,42.
10. Романовский И.В. Дискретный анализ. СПб.: БХВ-Петербург, Невский диалект, 2003.
11. Буч Г., Рамбо Дж., Якобсон И. Язык UML. Руководство пользователя.- М.: ДМК пресс, 2007.
12. Сайт кафедры "Технологии программирования" СПбГУ ИТМО, <http://is.ifmo.ru>