

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-ВАРНА

маг. инж. Диан Богданов Джибаров

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за присъждане на ОНС „Доктор” на
тема

ИЗСЛЕДВАНЕ НА АЛГОРИТМИ ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА СИСТЕМИ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ

Научен ръководител: доц. д-р Петър Д. Петров

докторска програма: „Автоматизация на
производството”

професионално направление: 5.2 „Електротехника,
електроника и автоматика”

Рецензенти: 1.....
2.....

ВАРНА

2020

Дисертационният труд е обсъден на 11.11.2020 г. на разширен катедрен съвет на катедра „Автоматизация на производството и е насочен за защита.

Докторантът работи в катедра „Автоматизация на производството”

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-ВАРНА

маг. инж. Диан Богданов Джибаров

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за присъждане на ОНС „Доктор” на
тема

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА АЛГОРИТМИ ЗА
АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА СИСТЕМИ С
РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ**

докторска програма: „Автоматизация на
производството”
професионално направление: 5.2 „Електротехника,
електроника и автоматика”

ВАРНА

2020

Дисертационният труд съдържа 136 страници, от които 110 страници основен текст, 14 фигури, 95 формули и 2 таблици. Материалът е оформен в 4 глави, завършващи с обобщения и изводи. Списъкът на използваната литература включва 100 заглавия, от които 8 на кирилица и 92 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на отч. в Конферентна зала НУК на открито заседание на жури формирано със заповед на Ректора №

МАТЕРИАЛИТЕ ПО ЗАЩИТАТА (ДИСЕРТАЦИЯТА, РЕЦЕНЗИИТЕ И СТАНОВИЩАТА) СА НА РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА ИНТЕРЕСУВАЩИТЕ СЕ ВЪВ ФД „ДОКТОРАНТИ“, СТАЯ 318 НУК.

ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ

- АС-адаптивна система;
- БИП – блок за изпреварващо предсказване;
- БИПР - блок за изчисляване параметрите на регулатора;
- БРОПО - блок за рекурсивна оценка на параметрите на обекта;
- МИП-метод на инструменталните променливи;
- МНМК-метод на най-малките квадрати;
- МСА -метод на стохастичната апроксимация;
- ОДУ – обикновени диференциални уравнения;
- ОРП – обекти с разпределени параметри;
- ОСНР – обобщен самонастройващ се регулатор;
- ОСП – обекти със съсредоточени параметри;
- ПИДРОП – ПИД регулатор с оптимизируеми параметри;
- ПС-пространство на състоянията;
- РМНК-рекурсивен метод на най-малките квадрати;
- РМРНК-рекурсивен разширен метод на най-малките квадрати;
- РМИП - рекурсивен метод на инструменталните променливи;
- РММП -рекурсивен метод на максималното подобие;
- РМО-регулатор с минимално отклонение;
- РМХ -регулатор с мъртъв ход;
- СНР-самонастройващ се регулатор;

- *СНРМОО* - самонастройващ се регулатор с междинна оценка на обекта;
- ЧДУ – частни диференциални уравнения;

АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

Ефективното проектиране изисква точно отразяване същността и особеностите на технологичните процеси. За много от тях е характерна пространствената разпределеност на параметрите. Такива са процесите на топлопроводност, дифузия, химическа кинетика, описвани с параболични уравнения с различни гранични и начални условия. Развитието на компютърната техника дава възможност експериментите да се заменят с програмна симулация, при което се ускорява процеса на проектиране, намаляват се разходите по изграждането на системата за автоматизация и става възможно бързото откриване на ситуации, които в реални производствени условия могат да доведат до проблеми или аварии.

Тези две тенденции в съвременната автоматизация - от една страна стремежа за по-точно описание на обектите за управление, а от друга – използването на закон за регулиране, който да гарантира адекватно поведение на системата при променящи се работни условия и параметри на обекта - мотивират проучванията за възможностите теорията на адаптивното управление да се приложи за обекти с разпределени параметри, т.е.

изграждането на системи за адаптивно управление на обекти с разпределени параметри.

Най-чести реалните обекти на управление имат разпределен характер, тъй като променливите на състоянието зависят от времето и пространството. Математическото описание чрез модели, описващи подобни явления се класифицират в групата на частните диференциални уравнения. Това води до извода, че точно описание на процеса на управление на обектите с разпределени параметри (ОРП), става посредством частни диференциални уравнения, които зависят от времето и пространството. Управляващите въздействия могат да бъдат вътрешни (разпределени върху пространствената област на обекта), гранични (приложени на границите на областта), или точкови (приложени в определени точки от пространствената област).

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Целта на настоящия труд е изследване, разработване и моделна настройка на адаптивни регулатори за обекти с разпределени параметри, описвани с частни диференциални уравнения от параболичен тип.

Въз основа на направените изводи се формулират следните основни задачи за решаване в дисертацията:

1. Развитие на метода на обобщените крайни интегрални преобразувания за свеждане

- на система с разпределени параметри от параболичен тип до система със съсредоточени параметри, в случаите на вътрешно управление
2. Разработване на структури на различни самонастройващи се регулатори за адаптивно управление на системи с разпределени параметри от параболичен тип с гранични условия от първи - втори, първи - трети и втори - трети род.
 3. Изследване работата на разработените регулатори за синтез на оптимално адаптивно управление на системи с разпределени параметри от параболичен тип с нехомогенни и нееднородни гранични условия от първи - втори, първи - трети и втори - трети род.
 4. Симулиране в програмна среда на работата на разработените самонастройващи се регулатори с получените модели на обекти с разпределени параметри, посредством използване на рекурсивни методи за оценяване при идентификация в реално време.

МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

Разработените алгоритми и системи и проведените с тях симулационни изследвания се базират на известните: метод на най-малките квадрати, метод на инструменталните променливи, метод на максималното правдоподобие и др..

ВНЕДРЯВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

1. Разработените алгоритми за изследване на системи с разпределени параметри за температурни обекти, описвани с частни диференциални уравнения от параболичен тип се използват за подобряване на учебния процес по дисциплината „Оптимално, адаптивно и робастно управление” от учебния план на специалност “Автоматика, информационна и управляваща компютърна техника”, ОКС “Магистър” и специалност „Роботика и мехатроника“ ОКС Бакалавър в Технически Университет - Варна.

АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Разработките по задачите на дисертацията са докладвани на научни форуми. Направени са общо 6 публикации, 4 от които самостоятелни, както следва: една на международен конгрес (на английски) – във Варна; две на международна конференция „Автоматика и информатика“- София; една в Национална юбилейна конференция на ТУ-София, Филиал - Пловдив и една в Международна конференция АСТ ‘2019 в ТУ-Варна (на английски език). Последната е наградена с отпечатване в списание “Computer Science and Technologies”, където е отпечатана на английски. Участие с доклад “Adaptive boundary control technique of distributed parameter systems”, в XXI-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020, индексирана в Scopus. Част от разработките са докладвани от автора пред

колеги в Техническия Университет в Бърно – Чехия, по програма ERAZMUS PLUS през 2019 година.

СТРУКТУРА И ОБЕМ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Дисертационният труд е разработен в обем от 136 страници, разпределен между Увод, 4 глави, общи изводи и заключения, насоки за бъдеща работа, списък на използваната литература, приложения, претенции за приноси, публикации и съдържание.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I

СЪСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМИ НА СИНТЕЗА НА АДАПТИВНОТО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ОБЕКТИ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ ОТ ПАРАБОЛИЧЕН ТИП

Обекти с разпределени параметри (ОРП) са такива динамични обекти, чиито параметри зависят от пространствените координати на физическото пространство, което заемат, както и във времевата област. Много голяма част от реалните физически обекти за управление могат да се разглеждат като ОРП. При различните случаи, тези обекти могат да бъдат апроксимирани с такива със съсредоточени параметри, в зависимост от предявените към управлението изисквания. В общия случай състоянието на обект с разпределени параметри (ОРП) се описва с една или повече функции, но поне с два отделни аргумента. Най-често това са t -времето и x – пространствената променлива.

1.1. Състояние и проблеми на оптималното и адаптивното управление на обекти с разпределени параметри

Обзор на трудовете, посветени на въпросите, свързани с теорията на системите с разпределени параметри през годините са правени много пъти. Опити за систематизиране на работите, разглеждащи решаването на задачи за идентификация и оптимално управление на ОРП са предприемани многократно. На въпросите, свързани с теорията на системите с разпределени параметри са посветени редица обзори.

1.2 Обзор на методите за адаптивно управление на обекти с разпределени параметри

В процеса на разработването на настоящия труд, авторът се запозна с над 50 публикации представлящи различни изследвания на системи с разпределени параметри, описвани с обикновени и частни диференциални уравнения, както и с различни изследвания в областта на оптималното и адаптивното управление

1.3 Общи сведения за адаптивните системи

Класическите системи с обратна връзка не винаги могат да решат проблема за качествено управление на технологичните процеси. Най-често срещаната причина за влошаване на качеството на управлението е изменението на условията на функциониране на обекта, което води до промяна на модела на процеса (предавателна функция, уравнения в пространството на състоянията и т.н.).

Причините за тази промяна може да са .

- ***параметрични*** - изменение на масата и инерционния момент на летящи обекти, изменение на скоростната константа на химичните реакции вследствие на намаляване активността на катализатора, изменение на коефициента на топлопредаване в следствие на различни причини: твърди отлагания върху стената и др.;

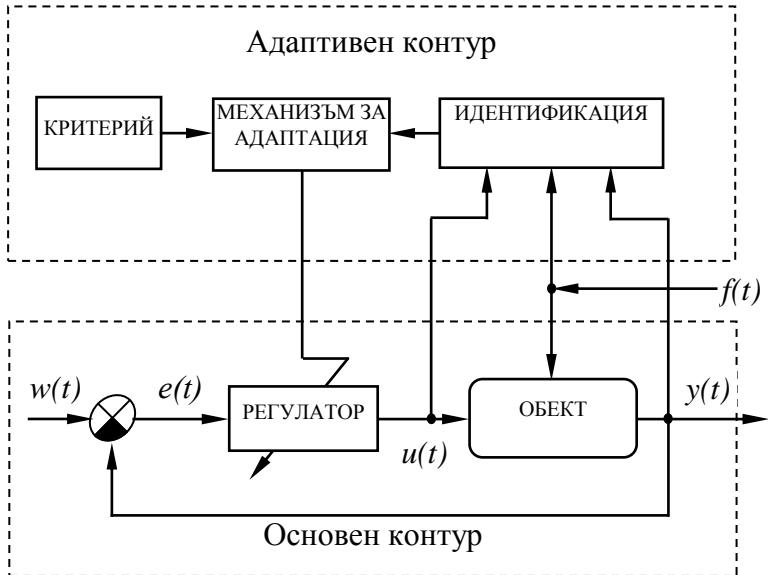
- ***сигнални*** - изменение на стойностите на заданията, при обекти с нелинейни статични характеристики, изменение на натоварването в следствие на смущение, изменение на състава на преработваните продукти и т.н.

И двата типа причини водят по същество до един и същ резултат-промяна в параметрите на модела на обекта. В някои случаи тази промяна може да бъде толкова значителна, че да доведе до неустойчива работа на системата.

Изходът от това положение може да се търси ***в изграждане на адаптивни системи.***

Основната идея при синтеза на адаптивните системи се базира на промяна на параметрите на регулатора в класическата система с обратна връзка, така че да се компенсира влиянието на изменението на параметрите на обекта и по този начин да се запази качеството на процесите в системата.

1.4 Класификация и характерни особености на адаптивните системи



фиг1.1

Адаптивната система включва два контура. Основният контур представлява класическа система с обратна връзка, която може да работи независимо от другия контур. Адаптивният контур включва три основни блока:

Първият блок осъществява **идентификация на параметрите на обекта** на базата на измерване на сигналите (или част от тях) на управлението $u(t)$, на изхода $y(t)$ и на смущението $f(t)$.

Вторият блок **съдържа критерия за синтез на регулатора**, който отразява изискванията към качеството на процесите в системата;

В третият блок *се осъществява механизъм за адаптация* на базата на критерия за синтез и резултатите от идентификацията (основата на този блок е алгоритъм за настройка на параметрите на регулатора);

Най-често адаптивните системи се класифицират в три основни класа.

- *системи с твърда адаптация.*

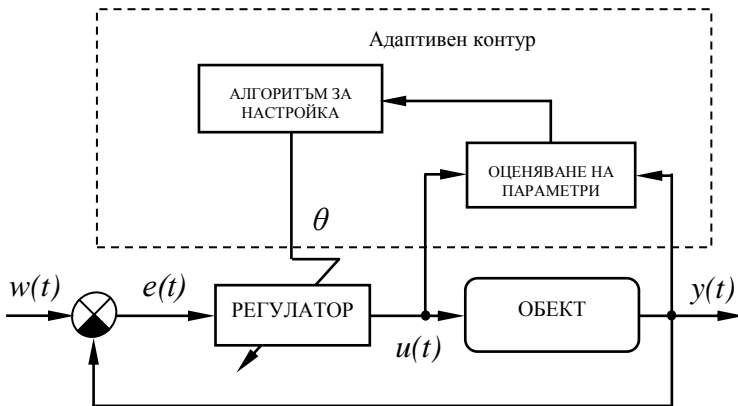
Характерно за системите с твърда адаптация, е това, че настройката на параметрите се извършва въз основа на модел на обекта, който отчита изменението на работните условия на базата на измерване на една или повече променливи на процеса или смущенията. Адаптацията на параметрите на регулатора се извършва в отворен контур, на компенсационен принцип;

- *системи с еталонен модел.*

Настройката на регулаторите при тях се извършва по такъв начин, че изходният сигнал на затворената система да се доближава асимптотично до изходния сигнал на зададен еталонен модел, избран предварително и даващ търсената динамика на затворената система;

- *самонастройващи се регулатори.*

Самонастройващите се регулатори съдържат два затворени контура. Блок-схемата на самонастройващ се регулатор е показана на *фиг. 1.2.*



фиг.1.2

СНР има три основни елемента:

- **класическа система с обратна връзка**, съдържаща регулатор и обект;
- **блок за идентификация на обекта**, която най-често се изразява в оценяване на параметрите на предварително специфициран модел на обекта;
- **алгоритъм за настройка на параметрите на регулатора** на базата на оценените параметри на обекта.

Характерно за СНР е, че те осигуряват големи възможности за избор от проектанта както на рекурентните методи за оценяване на параметрите, така и на методите за синтез на регулаторите. Тези възможности на самонастройващите се регулатори определят и големия интерес към тях.

1.5 Проблеми при системите за адаптивно управление

При адаптивните системи обикновено обектът

е нестационарен и променя характеристиките си във времето и пространството. В хода на експлоатацията, адаптивната система уточнява модела и привежда управляващия алгоритъм в съответствие с измененията. Това се постига чрез идентификация в затворен контур.

1.6 Изводи и заключителни бележки към глава първа

1) Представянето на дискретните системи за управление в пространство на състоянията е удобно, с оглед използване на векторно-матричната форма на запис.

2) Възможностите на системите за управление с обратна връзка по състоянието са значително по-големи от възможностите на системите с обратна връзка по управляемата изходна величина на обекта. От тази гледна точка, линейните дискретни регулатори на състоянието имат предимство пред конвенционалните ПИД регулатори.

3) При съвременното развитие на компютърните технологии, съставляващи техническата база на адаптивните регулатори, адаптивните системи за управление стават все по-привлекателно средство за управление при промяна на условията на функциониране на обекта за управление.

4) От трите класа адаптивни системи, самонастройващите се регулатори са най-универсални. Те осигуряват на проектанта големи възможности за избор както на методи за оценяване, така и на методи за синтез на регулаторите. Тези

възможности на самонастройващите се регулатори определят и големия интерес към тях.

1.7 Цел и задачи за решаване в дисертационния труд

В тази подточка са формулирани целта и задачите на дисертационния труд, които са дадени в началото на автореферата.

ГЛАВА II СИНТЕЗ НА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕКТ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ, ОПИСВАН С ЧАСТНИ ДИФЕРЕНЦИАЛНИ УРАВНЕНИЯ

Като механизъм за приспособяване в оригиналните разработки на системите с адаптация по модел се използва т.нар. „MIT-правило”, което се представя с уравнението:

$$\frac{d\theta}{dt} = -k.e.grad_{\theta}e \quad (2.1)$$

В него с e е отбелязана моделната грешка. Компоненти на вектора θ са променливите параметри на регулатора, а на вектора $grad_{\theta}e$ – производните на грешката по отношение на тези параметри.

Ако уравнение (2.1) се запише във вида:

$$\theta(t) = -k \int e(s) grad_{\theta}e(s) ds \quad (2.2)$$

се вижда, че този механизъм за приспособяване може да се разглежда като съставен от три части: линеен филтър за изчисляване на производните на базата на входните и изходните променливи на обекта,

умножител и интегратор. Подобна структура е характерна за повечето адаптивни системи.

2.1 Съпоставка между система с адаптация по модел и система със самонастройващ се регулатор

Системите с адаптация по модел са разработени за разрешаване проблема на детерминираното сервоуправление, докато системите със самонастройващ се регулатор - за проблема на стохастичното управление. Независимо от сходните си структури обаче двете схеми имат различно поведение. Целта на системите с адаптация по модел е при определен входен сигнал постигането на такова поведение на реалния обект, което е възможно най-близко до поведението на зададения модел. Те изискват наличието на измерим изходен сигнал от обекта и приспособяват поведението му към модела ако този сигнал се промени. В случай, че се използва фиксиран модел на обекта, затворената система се доближава до априори зададено поведение, което не е задължително да бъде оптималното. Основното предимство на тези системи е възможността за бърза адаптация при известни входни сигнали както и еднозначното определяне на устойчивостта чрез използване на нелинейната теория на устойчивостта.

Най-важното предимство на системите със самонастройващ се регулатор е, че когато са правилно проектирани те могат да се адаптират към промените на произволни сигнали (включително и неизмерими).

2.2 Методи за реализация на системи със самонастройващ се регулатор. Оценка параметрите на обекта

За рекурсивна оценка на параметрите в отворена система могат да се използват много различни методи:

- рекурсивен метод на най-малките квадрати;
- рекурсивен метод на разширените най-малки квадрати;
- рекурсивен метод на инструменталните променливи;
- рекурсивен метод на максималното правдоподобие;
- метод на стохастичната апроксимация;
- градиентни методи;
- метод на нелинейното филтриране;
- метод на най-бързото спускане;
- метод на филтър на Калман;

и др.

Различните рекурсивни методи за оценка на параметрите могат да бъдат записани в обобщена форма, представляваща следните три матрични уравнения:

$$\hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + \gamma(k)e(k+1) \quad (2.11)$$

$$\gamma(k) = \mu(k+1)P(k)\varphi(k+1) \quad (2.12)$$

$$e(k+1) = y(k+1) - \psi^T(k+1)\hat{\theta}(k) \quad (2.13)$$

Ако параметрите на обекта не са постоянни, а се променят бавно с течение на времето, разгледаните методи за рекурсивна оценка могат да бъдат модифицирани с добавяне на *фактор на забравяне*. Съгласно метода на претеглените най-малки квадрати това може да стане чрез минимизиране на модифицираната функция на загубите:

$$V = \sum_{k=0}^N \varepsilon(k) e^2(k) \quad (2.20)$$

При избор на тегловните коефициенти се получава експоненциално "забравяне".

$$\varepsilon(k) = \lambda^{N-k}, \quad 0 < \lambda < 1 \quad (2.21)$$

Факторът на забравяне λ е константа и за повечето случаи се избира в диапазона $0.95 \leq \lambda \leq 0.995$.

Основно предимство на градиентните методи е тяхната универсалност. Недостатък може да бъде тежката изчислителна процедура, свързана с диференцирането на критерия и решаването на уравненията на състоянието. Като модификации на градиентни методи се използват също: метод на стохастическата апроксимация, метод на най-бързото спускане, метод на покоординатното спускане. В литературата се срещат и обобщения на метода на филтъра на Калман, но често той се използва след предварително свеждане на ЧДУ към ОДУ или уравнения с крайни разлики.

Методът на нелинейната филтрация се използва в случаите, както Калмановата филтрация, но за нелинейни системи.

Методът на максималното правдоподобие дава оценки на параметрите, минимизиращи функцията на правдоподобие. Задачи, използващи РМПП се привеждат към задачи на нелинейното програмиране. В крайна сметка изборът на критерий за оптимизация е важен момент в процеса на идентификацията на ОРП. Той се влияе от различни фактори:

- ограниченията на допустимите отклонения на идентифицируемите параметри от действителните им стойности;
 - възможността за физическа реализуемост на управлението, синтезирано в резултат от идентификацията;
 - съблюдаване на особеностите на структурата на ОРП;
 - изчислителната тежест на избрания критерий.
- От изложеното до тук могат да се предявят редица изисквания към избора на подходящи методи за идентификацията на ОРП:
- да дават възможност за идентификация в реално време;
 - да са с високо бързодействие;
 - да свеждат решението на задачата към удобна за изчисление форма;
 - да бъдат максимално опростени за изчислителните процедури;
 - да позволяват оценяване на началните и граничните условия на обекта;
 - да имат висока точност при оценяване на работа със зашумени данни;

2.3. Изчисляване на началните стойности

Представени са няколко начина за изчисляване на началните стойности, в случай, че те са неизвестни.

Метод 1. Използване на разлики.

Метод 2. Осредняване.

Метод 3. Оценка чрез въвеждане на допълнителна константа.

2.4 Идентификация в затворена система

Прилагат са два основни типа идентификация в затворена система - индиректна и директна. При индиректната се идентифицира модела на затворената система. След това при известен модел на регулатора може да се намери модела на обекта. Характерно в случая е, че се измерва само изхода $y(k)$. При директната идентификация се намира директно модела на обекта като се измерват входа $u(k)$ и изхода $y(k)$ му.

2.5. Изчисляване параметрите на регулатора

Основните изисквания към алгоритмите за изчисляване параметрите на регулатора са

- да удовлетворяват условията за идентифицируемост на затворената система;
- да изискват малко памет за съхраняване на данните необходими за пресмятанията;
- да са достатъчно бързи.

Тези изисквания в най-голяма степен се удовлетворяват от т.нар. регулатори с мъртъв ход (Известни и като апериодични регулатори от пълен или понижен ред) и регулатори с минимално отклонение.

2.5.1 Регулатори с мъртъв ход /PMX/

Тези регулатори са проектирани за крайно време на установяване (т.е. постигане на $e_w(k)=0$ за $k>m+d-1$ и $u(k)=const$ за $k>m-1$) при по стъпково изменение на заданието $w(k)$. Съгласно [50] предавателната им функция е:

$$W_{PMX1} = \frac{u(z)}{e_w(z)} = \frac{q_0 A(z^{-1})}{1 - q_0 B(z^{-1})z^{-d}}, \quad q_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^m b_i} \quad (2.40)$$

2.5.2 Регулатори с минимално отклонение /РМО/

РМО са проектирани за работа при стохастичен шум $v(k)$ чрез минимизиране на функцията на поведението:

$$I(k+d+1) = E\{y^2(k+d+1) + ru^2(k)\} \quad (2.43)$$

и при допускането, че $b_0 = 0$.

2.5.3 ПИД-регулатори с оптимизируеми параметри

Това са регулатори с предавателна функция

$$W_{PID} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_\nu z^{-\nu}}{1 - z^{-1}} \quad (2.51)$$

спадаци към класа на параметрично оптимизируемите регулатори. Те удовлетворяват първото условие за идентифицируемост при $\nu \geq m-d$ и $p=0$. Поради тази причина тези регулатори с $\nu=2$ са подходящи единствено за обекти, при които $m \leq 2+d$.

2.6 Методи за изграждане на адаптивни системи със самонастройващи се регулатори

Методите за изграждане на адаптивни системи със самонастройващи се регулатори представляват подходяща комбинация от различните алгоритми, реализиращи всяка една от тези задачи.

Съществуват два основни подхода за извършване на комбинирането - изграждане на обобщен самонастройващ се регулатор и изграждане на самонастройващ се регулатор с междинна оценка на обекта.

2.7. Избор на методи за адаптивно управление.

Самонастройващ се регулатор с междинна оценка на обекта, базирани на различни комбинации от РМНК, РМРНК и РММП с РМХ и РМО, са предложени и сравнени в много литературни източници. Тези изследвания показват, че като цяло повечето комбинации имат добри качества. Все пак за предпочитане са тези с разширените варианти на съответните регулатори /РМХ2 и РМО2/, тъй като наличието на коефициентите r' и r позволява претеглянето на входа на обекта.

За да се използват показаните алгоритми за адаптивно управление трябва предварително да са зададени или да се определят следните параметри:

- времето на дискретизация T_0 ;
- редът m на модела на обекта;
- дискретното времезакъснение d ;
- факторът на забравяне λ ;
- тегловният коефициент r/r' .

Общо алгоритмите за адаптивно управление са много чувствителни към избора на времето на дискретизация T_0 . При обекти с пропорционално действие добро управление може да се постигне най-вече при избора му в диапазона

$$\frac{1}{15}T_{95} \leq T_0 \leq \frac{1}{4}T_{95} \quad (2.61)$$

където T_{95} е времето, за което изхода на обекта достига 95% от установената си стойност.

ГЛАВА III

ПРИВЕЖДАНЕ ОПИСАНИЕТО НА ОБЕКТ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ КЪМ ВИДА, ИЗИСКВАН ОТ АЛГОРИТМИТЕ ЗА АДАПТИВНО УПРАВЛЕНИЕ.

3.1 Постановка на задачата

В работата се разглежда класът топлинни обекти с разпределени параметри, описвани с параболично диференциално уравнение от вида:

$$\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta(x,t)}{\partial x^2} + f(x,t) \quad (3.1)$$

където a е коефициент на топлопроводност, θ - функция, описваща разпределението на температурата, x - пространствена променлива, t - време и $f(x,t)$ - функция на смущаващите въздействия, която може да описва и началните условия. Задачата се решава при наличие на нехомогенни и еднородни гранични условия от вида:

$$\theta(x,0) = \theta_0(x) = \theta_0 \quad (3.2)$$

$$\theta(0,t) = \theta(L,t) = U(t) = U \quad (3.3)$$

като уравнение (3.2) изразява началното разпределение на температурата, уравнение (3.3) - граничните условия от първи род, а U е управляващото въздействие, т.е. предполага се, че управлението е от страна на граничните условия. Търси се разпределението на физичната величина $\theta(x,t)$ за затворена област $\bar{D} \equiv \{0 \leq x \leq L; 0 \leq t \leq T\}$ на изменение на променливите при удовлетворяване на началните и граничните условия. Дадена функция $\theta(x,t)$ ще бъде решение на поставената задача ако е

непрекъсната в областта \bar{D} и притежава в нея непрекъснати производни, удовлетворяващи изходното уравнение (3.1). Доказано е, че ако съществува решение на така поставената задача, то е единствено.

3.2. Преобразуване изходното описание на обект с разпределени параметри в система обикновени диференциални уравнения.

За целта се използва методът на крайните интегрални преобразувания /КИП/, тъй като той се оказва най-удобен за решаване на изходното частно диференциално уравнение при съответните начални и гранични условия.

Характерно за разглежданата задача е, че управлението е само в краищата на тялото при отсъствие на междинни нагреватели и какъвто и да е топло обмен между тялото и околната среда.

3.3. Извеждане на предавателната функция $W_o(p,x)$ на ОРП, приведен към ОСП.

Еквивалентната предавателна функция на тази схема има вида:

$$W_{\text{екв.}} \equiv W_o(p,x) = \sum_{i=1}^{\infty} W_{o,i}(p,x) K_i(x) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2\pi i (1-(-1)^i)}{L^2 (p+a\mu_i^2)} \sin \frac{i\pi x}{L} =$$

$$= \frac{2\pi i}{L^2} \left[\frac{2 \sin \frac{\pi x}{L}}{p+a\mu_1^2} + \frac{3.2 \sin \frac{3\pi x}{L}}{p+a\mu_3^2} + \frac{5.2 \sin \frac{5\pi x}{L}}{p+a\mu_5^2} + \dots \right]$$

(3.17)

3.4. Привеждане модела на обекта с разпределени параметри във вида, изискван от алгоритмите за адаптивно управление.

За целта се използват т.нар. операционни методи. Основно се използват два операционни метода - метода на Тастен и метода на крайните разлики.

3.5. Симулация на обект за управление с известни параметри

Симулацията в случая се състои от следните дейности:

- а) генериране на входния сигнал към обекта $u(k)$;
- б) моделиране на обекта за управление и получаване на сигнала $y_u(k)$;
- в) генериране на шума $v(k)$ и получаване на филтрираната му стойност $n(k)$;
- г) изчисляване на реалния изход $y(k)=y_u(k)+n(k)$.

В синтезираното програмно осигуряване те се изпълняват от обекта *Process*, намиращ се в модула *APUnit*, като генерирането на входния сигнал се осъществява от модул *Input*, генерирането на шума - от модул *Noise*, а получаването на реалния изход (което включва и филтрирането на шума) - от модула *Output*.

3.6. Идентификация на обекта за управление

Разглежда се параметрична идентификация на обекта по стойностите на входния сигнал u и изходния y . Процедурата се състои от следните две стъпки:

- а) измерване на сигналите $u(k)$ и $y(k)$;
- б) прилагане на съответен алгоритъм за идентификация и получаване на параметрите на обекта и филтъра на шума, съответстващи на момента k . Както беше показано, най-подходящи за

целите на адаптивното управление са рекурсивните методи за идентификация. Обобщено те могат да се представят с матричните уравнения (3.11), (3.12) и (3.13), въз основа на които може да се изведе и обобщен алгоритъм за тяхната реализация. Той има вида:

- 1) съставяне на матриците $\hat{\theta}(k-1)$, $\Psi^T(k)$ и $\phi^T(k)$, съответстващи на дадения алгоритъм;
- 2) изчисляване на коефициента $\mu(k)$;
- 3) намиране на матрицата $P(k-1)$;
- 4) намиране на матрицата $\gamma(k-1)$ (уравнение 2.12);
- 5) изчисляване на грешката $e(k)$ (уравнение 2.13);
- 6) намиране на новите параметри $\hat{\theta}(k)$ (уравнение 2.11);

В синтезираното програмно осигуряване всичко необходимо за реализирането на тази процедура се намира в обекта *UnknownProcess*.

ГЛАВА IV

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ОБЕКТА И СМУЩЕНИЯТА ВЪРХУ КАЧЕСТВОТО НА АДАПТИВНОТО УПРАВЛЕНИЕ

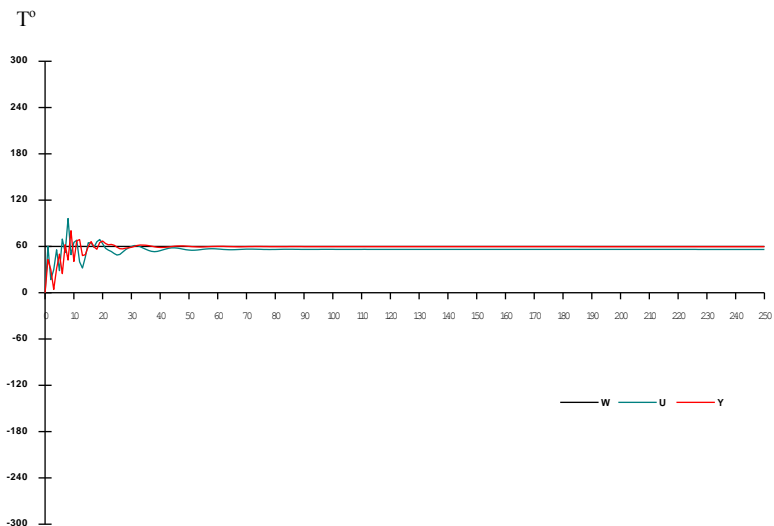
Както беше казано в работата се разглежда обект с разпределени параметри от тип "прът" като управлението е от страна на граничните условия, т.е. пръта се нагрява в двата си края по един и същ начин. При такава постановка на задачата най-отдалечената от мястото на прилагане на управляващото въздействие точка в обекта е средата му. Целта на всяко управление е постигане на

приблизително равномерно разпределение на съответната управлявана величина /в случая температурата/ в различните точки на обекта

Изходните данни за проведените изследвания са:

- задание $w=60^{\circ}\text{C}$;
- дължина на прът $L=1$;
- стойности на коеф. на топлопроводност a - 0.027 и 0.054;
- стойности на пространствената координата x - 0.25 и 0.5 ;
- нулеви начални условия;
- фактор на забравяне $\lambda=1$;
- тегловен коефициент $r=1$;

Тъй като се изследва обект с разпределени параметри, имащ описание от вида (3.1) като се предполага, че отсъства каквото и да е взаимодействие с околната среда, то единствените смущения, които има смисъл да се разглеждат са тези, постъпващи по канала на управляващото въздействие или по канала на измервателното устройство. С цел по-добре да се установят основните закономерности, валидни за различните алгоритми за адаптивно управление, по-голямата част от изследванията са направени при липса на шум. След това за определена комбинация на коефициента a и пространствената координата x , а именно $a=0.054$ и $x=0.25$, е изследвано поведението на различните алгоритми при наличие на случаен шум от страна на изхода на ОРП. Направени са множество изследвания с различни комбинации на рекурсивни методи за пряка идентификация и методи за адаптивен регулатор.



w – задание; u -управлящо въздействие; y – изход на ОРП /преходен процес във времето/

фиг.4.7 РМРНК/РМО $a=0.054, x=0.5$

Идентификация/ СНР		РМНК		РМРНК		РММП	
		$a=0.027$	$a=0.054$	$a=0.027$	$a=0.054$	$a=0.027$	$a=0.054$
РМХ	$x=0.25m$	56.69	59.32	53.77	62.35	---	---
	$x=0.5m$	62.66	60.00	60.82	59.99	---	---
РМО	$x=0.25m$	36.53	40.52	39.88	46.89	67.50	51.75
	$x=0.5m$	39.47	36.02	50.65	59.70	52.00	48.10

табл. 4.1 Установени стойности на $y(t)$ при различни комбинации на методите за идентификация и СНР

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

От направените експерименти, следвайки целите на дисертацията и решаването на формулираните задачи са постигнати следните резултати:

1. Направен е обзор на изследванията на системи с разпределени параметри, описвани с частни диференциални уравнения от различен тип.
2. Изведени са алгоритми за оценяване на параметрите, началните и гранични условия за ОРП, описвани с ЧДУ от параболичен тип.
3. Предложено е програмно осигуряване за:
 - идентификация на линейни, нелинейни и нестационарни ОРП;
 - настройка на параметрите на регулатора по няколко различни метода;
4. Разработени са структури на различни самонастройващи се регулатори, подходящи за управление на ОРП.
5. Симулационно е изследвана работата на разработените СНР към ОРП от параболичен тип.
6. Въз основа на разработката са подготвени лабораторни упражнения по дисциплината „Оптимално, адаптивно и робастно управление” за студентите от специалност „Автоматика, информационна и управляваща компютърна техника”, за ОКС „Магистър”.

Научно - приложни приноси

1. Доразвит е метода на обобщените крайни интегрални преобразувания за свеждане на система с разпределени параметри от параболичен тип до система със съсредоточени параметри, в случаите на вътрешно управление.
2. Разработени са структури на различни самонастройващи се регулатори, подходящи за адаптивно управление на системи с разпределени параметри от параболичен тип с гранични условия от първи-втори, първи-трети и втори-трети род.
3. Изследвана е работата на разработените регулатори при синтеза на адаптивно управление на системи с разпределени параметри от параболичен тип с нехомогенни и нееднородни гранични условия.

Приложни приноси:

4. Проведено е симулационно изследване в програмна среда на работата на разработените самонастройващи се регулатори с получените модели на обекти с разпределени параметри, посредством използване на рекурсивни методи за оценяване при идентификация в реално време.
5. Разработените алгоритми за изследване на системи с разпределени параметри за температурни обекти, описвани с частни диференциални уравнения се използват за подобряване на учебния процес по дисциплината „Оптимално, адаптивно и робастно управление” от учебния план на специалност “Автоматика, информационни и управляващи

- компютърни системи”, в ОКС “Магистър”, в Технически Университет - Варна.
6. Внедрено е в обучението на студентите от спец. АИУКС, ОКС „Магистър” и РМ, ОКС „Бакалавър“ разработеното програмно осигуряване и е използвано в обучението им.
 7. Разработено е собствено програмно осигуряване за целите на изследванията в труда.

НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

[A1] Джибаров Д., Узунов В., „Програмен продукт за оптимизация на системи с дискретни регулатори”, Национална конференция „Автоматика и информатика’93” – 18-19.10.1993г.

[A2] DZHIBAROV D., “A program modeling of adaptive control of thermal systems with distributed parameters” MEEMI 2005, 2-nd International Congress of Mechanical and Electrical Engineering and Marine Industry, 7-9.10.2005г.

[A3] Джибаров Д., „Адаптивно управление на топлинни обекти с разпределени параметри”, Journal of the Technical University at Plovdiv-“Fundamental Sciences and Applications”, V.13,I.4,9-11.11.2006г.

[A4] Джибаров Д., Петров П., „Адаптивно гранично управление на топлинни обекти, описвани с частни диференциални уравнения”, “International Conference Automatics and Informatics’10” – 03-07.10.2010 г.

[A5] Dzhibarov D., “Model of adaptive control of distributed parameter thermal systems”, International

Conference Applied Computer Technologies (ACT)
2019, 19-21.08.2019

[A6] Dzhibarov D., “Adaptive boundary control technique of distributed parameter systems”, XXI-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020, 3-6 June 2020, Bourgas, Bulgaria.

УЧАСТИЕ В НАУЧНИ РАЗРАБОТКИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Петър Петров, Овид Фархи, Велко Наумов, Марияна Тодорова, Цоло Георгиев, Никола Николов, Диан Джибаров, Веско Узунов, Мариела Александрова и др. – „Възможности за анализ и синтез на сложни системи с приложение за автоматизиране на производството на биодизел”-резюме, Годишник на ТУ-Варна, том.І, Варна, 2010
2. М. Тодорова и колектив, „Дистанционно управление на електромеханични системи и обекти с разпределени параметри”, резюме, Годишник на ТУ-Варна, ISSN 1311896X, 2011г.
3. М.Тодорова, Н. Николов, В.Узунов, Д.Джибаров и колектив, „Разработване и изследване на модели и алгоритми за управление на топлинни и електромеханични обекти и система за контрол на разхода на гориво”-резюме, Годишник на ТУ-Варна, ISSN 1311896X, 2013г.
4. М. Тодорова, Н. Николов, Д.Джибаров и колектив, „Синтез и изследване на алгоритми за интелигентно управление на процеси и

механизми”-резюме, Годишник на ТУ-Варна, ISSN 1311896X, 2014г.

5. Н.Атанасов, Д.Джибаров и колектив, „Разработване на системи за размито и адаптивно управление на класове обекти”-резюме, Годишник на ТУ-Варна, ISSN 1311896X, 2015г.

6. Н.Николов, В.Узунов, Д.Джибаров и др. „Моделиране и управление на нелинейни и нестационарни обекти”-резюме, Годишник на ТУ-Варна, ISSN 1311896X, 2016г.

Abstract:

In many systems of interest to the engineer there is no important spatial variation in the energy of the system, i.e. the energy can be thought of as being concentrated at a finite number of points. Such systems are called lumped and are adequately described by ordinary differential equations. However, the energy distribution of some systems, which are called distributed parameter systems (DPS), varies continuously from one point to another. Thus we have a system state which varies in space and in time. A very large part of the real physical objects of management can be considered as DPS. The present PhD thesis introduces an overview of the research of systems with distributed parameters, described by partial differential equations (PDE) of different types. Algorithms for estimating the parameters, initial and boundary conditions for objects with DPS, described by PDE of parabolic type are derived. Simulation study of the developed self-tuning regulators for these objects is performed.