

КИБЕРНЕТИКА И МЕХАТРОНИКА

УДК 62-50

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ

К.А. Пупков¹, А.И. Гаврилов², Г.А. Шахназаров²

¹Кафедра кибернетики и мехатроники
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

²Кафедра систем автоматического управления
МГТУ им. Н.Э. Баумана
2-я Бауманская ул., 5, Москва, Россия, 105005

В статье рассматриваются основные проблемы, связанные с проектированием интеллектуальных систем обработки информации и управления, функционирующих в условиях неопределенностей. Анализируются основные источники неопределенностей, приводится их классификация. Предлагаются и обсуждаются некоторые подходы к проектированию сложных систем управления, функционирующих в условиях неопределенностей, основанные на использовании современных интегрированных технологий обработки информации и управления.

Ключевые слова: автоматическое управление, интеллектуальные системы, робастное управление, адаптивное управление, нейросетевые технологии.

Отличительная особенность сложных систем управления, в том числе интеллектуальных систем управления (ИСУ), состоит в том, что они должны быть способны нормально функционировать в условиях различного рода неопределенностей. Эффект влияния этих неопределенностей может проявляться как некоторые случайные внешние воздействия, помехи или возмущения сигнального типа, как некоторые непрогнозируемые структурные или параметрические возмущения моделей элементов систем управления или объектов управления, или как некоторые возмущения, носящие событийный, ситуационный характер. Поэтому необходимость обеспечения высоких требований к эксплуатационным, динамическим характеристикам, характеристикам точности и надежности систем управления

сложными объектами и процессами в условиях неопределенности является одной из наиболее важных и актуальных проблем современной теории управления.

Сложность решения этой проблемы обусловлена рядом факторов, основными из них являются следующие:

— процесс проектирования систем управления сложными объектами основывается на использовании исходной информации, имеющей неопределенный характер;

— процесс функционирования систем управления сложными объектами должен осуществляться в условиях влияния на работу системы различного характера неопределенностей, которые имеют непрогнозируемый, стохастический характер.

Рассмотрим проблематику, связанную с необходимостью учета неопределенностей при проектировании и функционировании интеллектуальных систем управления, более подробно.

К основным факторам, определяющим неопределенность исходной информации, используемой в процессе проектирования систем управления, можно отнести:

— структурно-параметрические неопределенности используемых в процессе проектирования систем управления математических моделей их отдельных подсистем, а также самих объектов управления;

— структурно-параметрические неопределенности используемых в процессе проектирования математических моделей действующих на систему внешних воздействий;

— неопределенности, обусловленные стохастическим характером изменений параметров моделей объектов управления и внешних воздействий в процессе функционирования системы, что не позволяет проектировать систему управления с учетом известных, заранее прогнозируемых изменений параметров используемых в процессе проектирования математических моделей;

— неопределенности, обусловленные стохастическим, событийным характером изменения ситуационных условий функционирования системы управления.

К основным источникам неопределенностей используемой в процессе функционирования систем управления информации можно отнести:

— случайные, непрогнозируемые изменения динамических характеристик объектов управления;

— случайные, непрогнозируемые изменения свойств внешних, действующих на систему воздействий;

— наличие помех в каналах измерений;

— непрогнозируемые изменения условий функционирования системы управления вследствие изменений окружающей среды;

— другие источники неопределенностей.

При проектировании, исследовании и моделировании интеллектуальных систем управления представляется удобным интерпретировать состояние влияющих на систему неопределенностей, как результат взаимодействия системы управления с некоторой обобщенной внешней средой. Это обобщенное представление условий и форм взаимодействия ИСУ с внешней средой отражено на рис. 1.

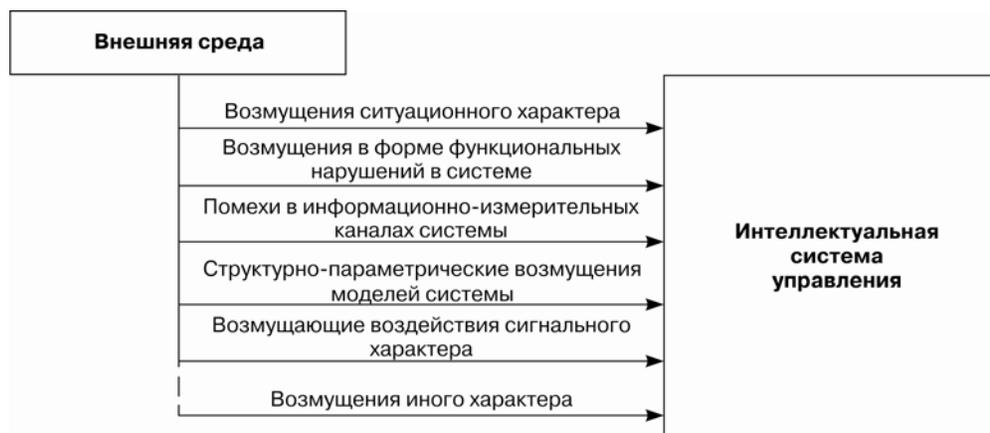


Рис. 1. Взаимодействие интеллектуальной системы управления с внешней средой

Очевидно, что обеспечение повышенных требований к характеристикам систем управления сложными объектами и процессами возможно на основе реализации таких принципов организации управления, методов, средств и технологий обработки сигналов, которые позволили бы либо уменьшить степень неопределенности используемой для формирования управлений информации, либо компенсировать влияние ее неопределенности на эффективность реализуемых управлений.

Наименее сложным с точки зрения реализации управления объектами значения параметров моделей которых носят либо неопределенный, либо изменяющийся во времени характер, является применение статичных, т.е. неадаптивных робастных регуляторов. Структура и параметры этих регуляторов синтезируются так, чтобы для всех возможных значений параметров моделей система была устойчивой и обладала желаемыми динамическими свойствами.

Примером одного из возможных подходов к решению задачи синтеза робастных, статичных регуляторов является подход, основанный на использовании теоремы Харитоновна. Этот подход может быть использован в том случае, если модель системы управления линейная, а ее параметры имеют детерминированные, априори известные интервальные ограничения.

Рассмотрим применение этого подхода на следующем примере. Пусть характеристический полином системы имеет вид

$$D(\lambda) = a_0\lambda^4 + a_1\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_3\lambda + a_4.$$

Коэффициенты характеристического полинома, зависящие от параметров модели объекта управления и параметров регулятора, могут принимать значения внутри известных интервалов:

$$\underline{a}_0 \leq a_0 \leq \overline{a}_0; \quad \underline{a}_1 \leq a_1 \leq \overline{a}_1; \quad \underline{a}_2 \leq a_2 \leq \overline{a}_2; \quad \underline{a}_3 \leq a_3 \leq \overline{a}_3; \quad \underline{a}_4 \leq a_4 \leq \overline{a}_4.$$

Тогда четыре характеристических полинома Харитоновна имеют вид

$$D_1(\lambda) = \underline{a}_0\lambda^4 + \overline{a}_1\lambda^3 + \overline{a}_2\lambda^2 + \underline{a}_3\lambda + \underline{a}_4;$$

$$D_2(\lambda) = \underline{a}_0\lambda^4 + \underline{a}_1\lambda^3 + \underline{a}_2\lambda^2 + \overline{a}_3\lambda + \overline{a}_4;$$

$$D_3(\lambda) = \overline{a_0}\lambda^4 + \underline{a_1}\lambda^3 + \underline{a_2}\lambda^2 + \overline{a_3}\lambda + \overline{a_4};$$

$$D_4(\lambda) = \overline{a_0}\lambda^4 + \overline{a_1}\lambda^3 + \underline{a_2}\lambda^2 + \underline{a_3}\lambda + \overline{a_4}.$$

В соответствии с теоремой Харитонова для робастной устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы все полиномы Харитонова были устойчивы.

Таким образом, задавшись структурой и решая тем или иным способом задачу параметрического синтеза регулятора с учетом условий робастной устойчивости Харитонова, можно синтезировать статичный, неадаптивный робастный регулятор.

На рисунке 2 представлена структура системы управления с ПИ-регулятором, а также диаграммы D -разбиений пространства параметров этого регулятора для всех полиномов Харитонова, что позволило синтезировать робастный ПИ-регулятор.

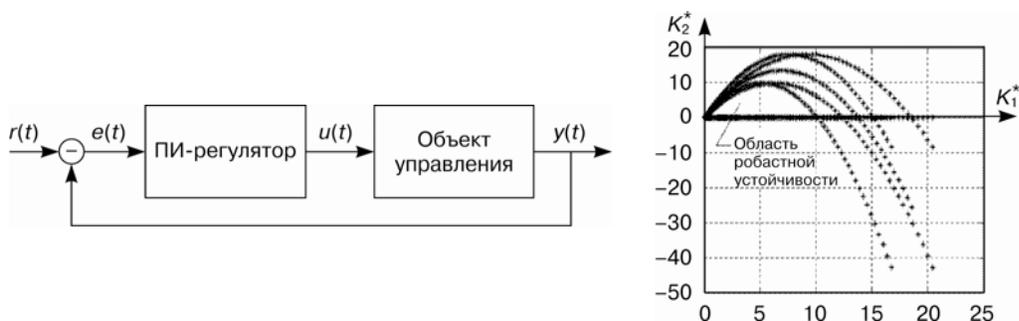


Рис. 2. Структурная блок-схема системы управления и D -разбиение пространства параметров ПИ-регулятора

На рисунке 3 представлены результаты моделирования синтезированной системы при случайных значениях параметров модели объекта управления с неробастным и с робастным ПИ-регулятором.

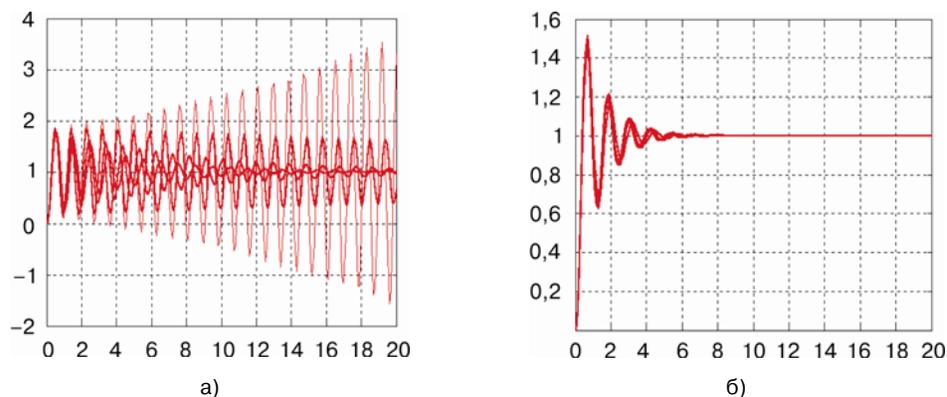


Рис. 3. Переходные процессы в системе со случайными параметрами:
а) с регулятором традиционного типа; б) с адаптивным регулятором

Из этих графиков следует, что при некоторых произвольных случайных значениях параметров модели объекта управления система с неробастным регулятором может оказаться неустойчивой, а с синтезированным робастным регулятором — всегда устойчива.

Другим конструктивным, однако более сложным с точки зрения реализации методом решения проблемы управления в условиях неопределенностей является использование результатов структурно-параметрического оценивания неопределенных моделей объектов управления для реализации принципов адаптивной самонастройки и самоорганизации.

Реализация этих прогрессивных методов организации управления возможна с использованием как традиционных, классических методов и технологий, так и современных интеллектуальных технологий обработки информации и управления, лежащих в основе функционирования интеллектуальных систем управления.

Можно отметить следующие основные свойства интеллектуальных систем:

- способность восприятия информации как о внутреннем состоянии системы и ее отдельных подсистем, так и о состоянии внешней среды;
- способность к накоплению информации и генерации знаний;
- способность к накоплению знаний, их структурированию и обобщению;
- способность к адаптации и самоорганизации по отношению к изменяющимся внешним условиям;
- способность к принятию решений на основе располагаемой информации.

Все эти свойства интеллектуальных систем обеспечиваются соответствующей организацией самих систем, их подсистем, их архитектурой, топологией, информационными связями, алгоритмическим обеспечением и информационно-обрабатываемыми средствами.

К интеллектуальным технологиям обработки информации и управления можно отнести:

- нейросетевые технологии;
- технологии, основанные на реализации алгоритмов нечеткой логики;
- технологии экспертного управления;
- комбинированные, в частности нейронечеткие технологии;
- другие технологии.

Важной особенностью и свойством интеллектуальных систем является их способность к накоплению информации, ее обобщению и накоплению знаний об исследуемом процессе или объекте. Это свойство интеллектуальных систем позволяет эффективно решать задачи оценивания динамических моделей объектов управления и управляемых процессов с использованием различных, в том числе комбинированных интеллектуальных технологий. Оценивание предполагает формирование и использование некоторого базиса, в котором эти модели представляются. Оценивание моделей динамических систем и процессов в интеллектуальных системах может осуществляться как с использованием традиционных, классических методов и алгоритмов, так и с использованием интеллектуальных технологий.

В настоящее время одним из перспективных направлений использования и реализации интеллектуальных технологий решения задач оценивания и управления являются нейросетевые технологии. Использование нейросетевых технологий предполагает задание модели динамической системы или процесса в нейросетевом базисе в виде некоторой нейросетевой структуры с настраиваемыми в процессе

обучения сети межнейронными связями. При этом процесс обучения сети может быть реализован как в офлайн, так и в онлайн режимах.

На рисунке 4 представлена классическая структура адаптивной самонастраивающейся системы (4а) и структура интеллектуальной системы, использующей нейросетевые технологии для организации адаптивного управления с нейросетевым идентификатором и настройкой параметров нейросетевого регулятора (4б).

Одним из преимуществ использования нейросетевых технологий для решения задач оценивания моделей динамических систем является то, что в нейросетевом базисе могут быть представлены модели сложных многомерных стохастических, стационарных и квазистационарных линейных и нелинейных динамических систем и процессов.

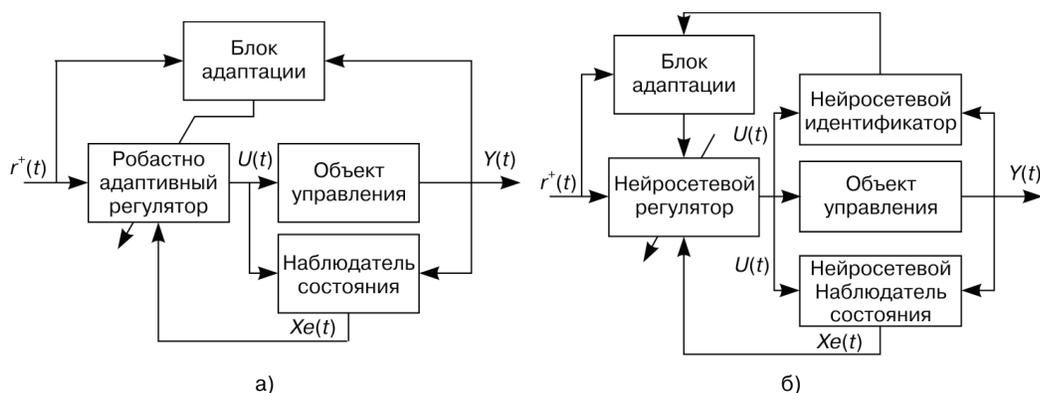


Рис. 4. Структуры адаптивных систем с управлением по вектору состояния:
 а) общая структура самонастраивающейся системы; б) структура адаптивной системы с нейросетевым идентификатором и адаптивным регулятором

Проблемной стороной применения нейросетевых технологий является относительная сложность вычислений, позволяющих осуществить как процесс моделирования на основе использования обученной нейросети, так и сам процесс ее обучения. Особо высокие требования к организации вычислений для реализации нейросетевых технологий предъявляются к нейросетевым алгоритмам, функционирующим в реальном времени в онлайн режиме. В этом случае особо высокие требования предъявляются как к используемым вычислительным средствам, так и к сложности вычислительных процедур, в существенной мере зависящих от внутренней структуры реализуемой нейросети. В связи с этим существенное значение на этапе проектирования интеллектуальных систем управления приобретает необходимость решения проблемы оптимизации нейросетевых структур.

На рисунке 5 представлены примеры структур нейросетевых моделей динамической системы.

Очевидно, что для реализации в реальном времени нейросетевых алгоритмов для нейросети с оптимизированной структурой требуются существенно меньшие вычислительные ресурсы, чем для реализации нейросетевых алгоритмов для сети с исходной, неоптимизированной, полностью связанной структурой.

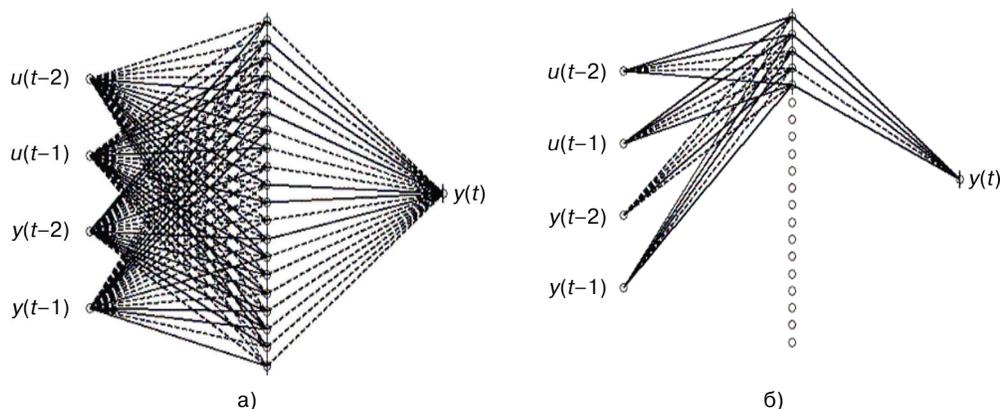


Рис. 5. Структуры нейросетевых моделей динамической системы:

- а) нейросеть с полностью связанной структурой;
- б) нейросеть с оптимизированной структурой

Процесс моделирования и проектирования интеллектуальных систем управления также представляет собой сложную проблему. Сложность решения этой проблемы обусловлена:

- функциональной организацией и многообразием функциональных элементов систем управления, динамические модели которых необходимо реализовать в процессе моделирования;

- иерархическим принципом организации интеллектуальных систем управления, который предполагает как иерархичность функционального состава подсистем, так и более сложным характером информационных связей между элементами системы;

- многообразной алгоритмической структурой интеллектуальных систем управления;

- многообразием вычислительных процедур, реализующих различные технологии обработки информации и управления.

Таким образом, создание и реализация интеллектуальных систем управления, основанных на интеграции различных методов и технологий обработки информации и управления, является эффективным средством повышения эксплуатационных характеристик, а также характеристик точности и надежности систем управления.

В данной статье отражены некоторые результаты научных исследований, проводимых авторами в рамках проекта «Комплексирование робастного, нейронечеткого и адаптивного управления в интеллектуальных системах высокой точности и надежности», выполнявшегося по заданию Министерства образования и науки РФ [1].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Комплексирование робастного, нейронечеткого и адаптивного управления в интеллектуальных системах высокой точности и надежности / Пупков К.А. и др. // М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, Отчеты по НИР, Проект РНП.2.1.2.7740, рег. № 01200611718, рег. № 01200701629, рег. № 01200901089.

INTEGRATION OF CONTROL TECHNOLOGIES IN THE HIGH ACCURACY AND RELIABILITY INTELLIGENT SYSTEMS

К.А. Pupkov¹, А.И. Gavrilov², G.A. Shakhnazarov²

¹Department of Cybernetics and Mechatronics
Engineering Faculty
People's Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

²Department of Automatic Control Systems
Moscow State Technical University
2-nd Baumanskaya, 5, Moscow, Russia, 105005

Main problems, associated with the design of intelligent systems for information processing and control, which are operating at the conditions of uncertainties are considered. Main sources of uncertainties are analyzed, the classification of uncertainties is proposed and considered. Furthermore, some approaches, based on using of modern integrated technologies for information processing and control, to solve problems of the design of complex control systems, which are operating at the conditions of uncertainties, are also considered and discussed.

Key words: Automatic Control, Intelligent Systems, Robust Control, Adaptive Control, Neural Networks Technologies.