

УДК 621.396

В. С. Смирнов¹, А. В. Самков², Е. В. Иванченко¹, Н. В. Беленок¹

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНО-ИНВАРИАНТНЫХ УСИЛИТЕЛЬНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

¹Государственный университет телекоммуникаций МОН Украины, г. Киев²Институт электродинамики НАН Украины, г. Киев

Аннотация. Рассмотрены принципы построения инвариантных усилительно-преобразовательных систем телекоммуникационного оборудования автономных объектов. Сформулированы основные положения структурной инвариантности систем, позволяющие синтезировать адаптивные усилительно-преобразовательные системы с многократной модуляцией и нечетким управлением. Показано, что способность нечеткого регулятора реализовать сложную нелинейную зависимость адаптивного воздействия от значений вектора ошибки дает возможность как для выбора наилучшего в смысле скорости сходимости процесса адаптации при минимальном показателе отклонения от эталонного движения алгоритма адаптации, так и для расширения диапазона адаптации.

Ключевые слова: усилительно-преобразовательная система, инфокоммуникационное оборудование, автономные объекты, теория инвариантности, система автономного управления, нечеткая логика.

Анотація. Розглянуто принципи побудови інваріантних підсилювально-перетворювальних систем інфокомунікаційного обладнання автономних об'єктів. Сформульовано основні положення структурної інваріантності систем, що дають змогу синтезувати адаптивні підсилювально-перетворювальні системи з багаторазовою модуляцією і нечітким управлінням. Показано, що здатність нечіткого регулятора реалізувати складну нелінійну залежність адаптивного впливу від значень вектора похибки дає можливість як для вибору найкращого в сенсі швидкості збіжності процесу адаптації при мінімальному показнику відхилення від еталонного руху алгоритму адаптації, так і для розширення діапазону адаптації.

Ключові слова: підсилювально-перетворювальна система, інфокомунікаційне обладнання, автономні об'єкти, теорія інваріантності, система автономного управління, нечітка логіка.

Abstract. The thesis is devoted to the development of the construction theory invariant amplify-converter systems with a multiple modulation. The principle of organization and control algorithms of adaptive amplify-converter systems are proposed and researched. It is shown that the ability of a fuzzy controller to implement complex nonlinear dependence of the adaptive effects of the error vector values allows for selection of the best in terms of the convergence of the adaptation process at the minimum speed indicator of deviation from the reference motion adaptation algorithm, and to expand the range of adaptation.

Key words: amplify-converting systems, infocommunication equipment, autonomus objects, theory of invariante, system independent control, fuzzy logic.

Вступление

Современный уровень развития радиотехнических систем непосредственно связан с проблемой создания функционально и энергетически эффективного электронного оборудования. В связи с развитием микроэлектроники и полупроводниковой техники эта проблема приобретает особое значение. Это относится и к усилительно-преобразовательным системам (УПС), входящим в состав разнообразного инфокоммуникационного оборудования (ИКО).

Современный уровень развития аппаратных средств ИКО, постоянно возрастающие требования, предъявляемые к ним, требуют разработки УПС, которые сочетали бы в себе функции формирования высококачественного выходного сигнала и широкодиапазонного регулирования (стабилизации) его параметров, обеспечивая тем самым высокие энергетические и динамические показатели. Необходимость в таких УПС ощущается при разработке и создании различных систем воспроизведения и усиления информации, телеуправляемых автономных аэрокосмических и глубоководных комплексов, в частности, беспилотных и космических аппаратов, автоматических зондов, робототехнических комплексов, автоматизированных систем телекоммуникаций, радионавигации и гидроакустики, используемых в оборудовании автономных объектов (АО).

То несоответствие, которое регулярно обнаруживается между характеристиками УПС и непрерывно растущими требованиями, предъявляемыми к ним, является мощным и постоянно действующим стимулятором совершенствования УПС. При этом рост информационной пропускной способности сопровождается как расширением функциональных возможностей УПС, так и увеличением энергозатрат. Кроме того, современные УПС работают обычно в составе комплексов и, следовательно, должны удовлетворять условиям, предъявляемым к комплексу, например, условию электромагнитной совместимости.

Такие УПС могут иметь большое количество потребителей, потому необходимость работы УПС по заданной циклограмме, возможность перестройки структуры УПС, синхронизации ее работы существенно отличают УПС от известных систем, для которых последовательность смены режимов работы и специальные требования к характеристикам обычно не регламентируются. Следовательно, речь идет о самонастраивающихся многорежимных УПС [1, 2].

Материалы исследований

Эффективным средством обеспечения заданных характеристик УПС является использование положений теории инвариантности [2]. Однако использование теории инвариантности при построении УПС модуляционного типа осложняется нелинейностью дискретных систем автоматического управления, какими являются современные УПС.

Основная задача теории инвариантности – отыскание таких условий структурного построения УПС, при выполнении которых движение одной или нескольких координат системы не зависит от одного или больше числа входных воздействий, подаваемых на систему. Наиболее интересны два случая:

- входные воздействия поддаются непосредственному измерению, но законы их изменения во времени заранее неизвестны. В этом случае структура системы должна обеспечить независимость движения координат при любом допустимом изменении входных воздействий;

- входные воздействия непосредственно измерить невозможно. В этом случае структура системы должна обеспечить независимость движения координат при любом допустимом входном воздействии. По крайней мере, эта независимость должна выполняться с определенной степенью точности, т.е. инвариантность до ε .

На сегодня не решены многие вопросы теоретического и практического характера, связанные с созданием структурно-инвариантных УПС. Кроме того, актуальной проблемой является обеспечение заданных характеристик при априорной неполноте или отсутствии информации о координатно-параметрических воздействиях на систему, что приводит к необходимости использования адаптивного подхода [1].

Широкое использование робототехнических систем требует повышения гибкости УПС и надежности (отказоустойчивости и живучести) подобного рода комплексов. Повышение указанных показателей и качества принимаемых решений за счет усовершенствования только аппаратного обеспечения структур УПС на определенном этапе существенно повысило уровень автоматизации различного рода технологических параметров. Анализ результатов использования таких комплексов в системах с повышенной степенью ответственности указал на существование пределов возможных уровней достижимости данных показателей при схемотехнической реализации. Например, повышение функциональных возможностей УПС за счет усложнения аппаратурной реализации приводит к снижению отказоустойчивости и живучести системы в целом. Поэтому одним из возможных направлений решения этой проблемы является снижение уровня сложности реализации программно-аппаратурного обеспечения используемых УПС за счет повышения их «интеллектуальности» [3].

При этом к УПС предъявляется требование реализации заданных характеристик функционирования при условии наиболее полного обеспечения инвариантности выходных координат системы к процессам в первичных источниках энергии и потребителях. Реализация заданных характеристик функционирования предусматривает инвариантность выходных координат УПС не только к возмущающим воздействиям, но и к виду преобразуемой электроэнергии, что обуславливает необходимость расширения функциональных и динамических возможностей систем. Отсутствие единого методологического подхода к построению и анализу инвариантных УПС с заданными характеристиками функционирования значительно осложняет задачу их создания и не позволяет обеспечить реализацию требований, которые предъявляются к таким системам.

Динамический подход к описанию систем самого различного происхождения является основой анализа большинства классических явлений. Сначала строится соответствующая математическая модель в виде динамических уравнений, а затем тем или иным способом изучаются их решения, которые можно сопоставить с экспериментальными данными. Развитие этих идей, а также представление, что состояние модели в любой момент времени должно однозначно определяться начальными условиями, привели исследователей к понятию динамической системы.

Хотя динамическая система и является некоторой математической абстракцией, такая парадигма оказалась весьма продуктивным инструментом при описании многих реальных явлений.

Исследования в этом направлении выявили большое разнообразие динамики нелинейных систем и привели к одному из важнейших открытий XX века – динамическому хаосу [8, 9]. Классическими примерами хаоса являются азартные игры, которые, в частности, изучаются теорией вероятности. Однако азартные игры это недетерминированный процесс. Здесь допускается присутствие элемента случайности. Теория хаотических систем использует методы теории вероятности, но не является ее частью. Хаос же

следует определить как некоторый случайный процесс, который наблюдается в динамических системах не подверженных влиянию шумов или каких-либо случайных сил. Поэтому теория хаоса рассматривается как часть теории динамических систем.

Где же лежит граница между регулярной, но сложной динамикой и хаосом? Критерием может служить устойчивость системы к малым возмущениям. Если такая устойчивость отсутствует, детерминированное описание на больших временных интервалах теряет смысл и необходимо использовать статистические методы. Такой подход привел к необходимости определения хаотического поведения через чувствительную зависимость системы к начальным условиям и использованию показателей Ляпунова и энтропии в качестве критериев динамического хаоса.

Динамический хаос – сложное, неупорядоченное движение нелинейных систем, возникающее при отсутствии каких-либо случайных возмущений, которое привлекает к себе повышенное внимание в связи с устойчивой тенденцией перехода от теории к практике [10, 11].

Для реализации нетрадиционных алгоритмов записи, хранения, обработки и передачи информации, использующих свойства хаотической динамики систем, необходимы генераторы хаоса (ГХ) – устройства, преобразующие энергию внешнего источника в энергию хаотических колебаний.

Теоретические исследования и эксперименты показали, что использование хаотических аналоговых и дискретных генераторов в качестве несущих и модулируемых колебаний является привлекательным и эффективным в конфиденциальных системах связи. Среди весьма большого разнообразия используемых алгоритмов передачи информации на основе детерминированного хаоса заслуживают внимания те, которые имеют уже техническую реализацию и экспериментальные результаты, а именно:

- хаотическую маскировку, при которой информационный сигнал суммируется с хаотическим и передается в канал связи;
- переключения хаотических режимов: бинарный сигнал, например логическая 1, кодируется хаотическим сигналом одного типа, а логический 0 – хаотическим сигналом другого типа;
- нелинейное подмешивание, когда информационный сигнал участвует в формировании сложного хаотического сигнала.

При нелинейном подмешивании информационный сигнал непосредственно участвует в формировании сложного хаотического поведения ведущей системы. Такой ввод информации нельзя назвать ни аддитивным наложением, ни обычной модуляцией. В ведущей системе информационный сигнал $s(t)$ подмешивается к собственному сигналу системы $y(t)$. Например, это может быть сделано путём введения его в кольцо обратной связи генератора хаоса.

Для извлечения информации в приёмнике используется согласованный нелинейный фильтр, осуществляющий тот же тип нелинейного преобразования, как и в передатчике. Далее производится вычитание сигнала, прошедшего фильтр, из сигнала, поступившего на вход фильтра (ведомая система). Следует отметить, что в системе с нелинейным подмешиванием при полностью согласованном фильтре информационный сигнал на выходе приёмника извлекается точно.

Одним из решений при построении рассматриваемых систем является возможность совместного применения адаптивного подхода и методов управления, использующих нечеткую логику, что позволит создавать адаптивные нечеткие системы, содержащие в качестве адаптивного регулятора экспертную систему с нечеткой логикой. Такое решение наряду с преимуществами экспертного подхода к формированию законов управления, простоте и дешевизне по сравнению с системами, построенными на принципах самоорганизации и самоалгоритмизации, придает нечетким системам способность к адаптации при изменении условий функционирования.

Адаптивное управление позволяет существенно улучшить динамику, оценить недостающие переменные, придать системе свойство робастности. В отличие от нечеткого подхода с возможностью формализовать для последующего анализа имеющуюся информацию, которая носит неопределенный характер, в процессе адаптации происходит последовательное раскрытие неопределенности, ведущее к увеличению «информированности» системы управления. Таким образом, задача адаптивного управления с нечеткой логикой состоит в обеспечении заданного функционирования объекта при изменении его условий работы (изменении характеристик внешних воздействий или параметров объекта управления) путем целенаправленной коррекции управления на основе нечеткого вывода [4, 5, 6, 7].

Взаимодействие адаптивного и нечеткого подходов возможно двумя путями. Первый состоит в организации процедур самообучения, самоалгоритмизации и самоорганизации нечеткого регулятора. Полученные таким образом «высокоинтеллектуальные» системы способны решать задачи управления в условиях большой априорной и текущей неопределенности структуры и параметров объекта. В системах нижнего уровня (исполнительные устройства, приводы) более целесообразен второй подход, который заключается в использовании нечеткого регулятора для реализации механизма адаптации.

Выводы

Способность нечеткого регулятора реализовать сложную нелинейную зависимость адаптивного воздействия от значений вектора ошибки дает возможность как для выбора наилучшего в смысле скорости сходимости процесса адаптации при минимальном показателе отклонения от эталонного движения алгоритма адаптации, так и для расширения диапазона адаптации.

При проектировании систем управления УПС довольно часто возникает проблема, характерная для проектирования почти всех нечетких систем реального времени. С одной стороны, система должна обеспечивать логические выводы достаточно высокого уровня, чтобы отвечать всем особенностям работы УПС, с другой стороны, в каждый данный момент система должна с высоким быстродействием компенсировать координатно-параметрические возмущения в условиях неполноты информации о них. Проблема может быть разрешена путем иерархической организации системы в виде двух уровней, отличающихся по функциональному назначению и быстродействию. При этом нечеткий регулятор может выполнять не основную, а дополнительную функцию управления объектом, работая параллельно с основным координатно-параметрическим регулятором и «мягко» реагируя на дополнительные внешние возмущающие воздействия.

Кроме того, такая декомпозиция системы позволяет улучшить показатели структуры за счет замечательного свойства нечеткого регулятора – возможности реализации необходимого нелинейного алгоритма управления.

Список литературы

1. Алиев Р.А. Принцип инвариантности и его применение для проектирования промышленных систем управления / Р.А. Алиев. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 128 с.
2. Павлов В. В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления / В.В. Павлов. – К. : Наук. думка, 1971. – 271 с.
3. Алиев Р.А. Идентификация и оптимальное управление нечеткими динамическими системами / Р.А. Алиев, Г.М. Мамедова // Техн. кибернетика. – 1993. – №6. – С. 118–126.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. – М. : Мир, 1976. – 165 с.
5. Кудинов Ю.И. Нечеткие системы управления / Ю.И. Кудинов // Техн. кибернетика. – 1990. – №5. – С. 196–206.
6. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Тэрано. – М. : Мир, 1993. – 368 с.
7. Mamdani E.H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguisticsynthesis// IEEE Trans. of Comp[uter. – 1977. – Vol. 26. № 12. – P. 1182–1191.
8. Мухин Р.Р. Очерки по истории динамического хаоса / Р.Р. Мухин. – М. : Вест-Консалтинг, 2007.
9. Муи Ф. Хаотические колебания / Ф. Муи. – М. : Мир, 1990.
10. Основы теории сложных систем / А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов. – М. – Ижевск: РХД, 2007.
11. Введение в теорию динамических систем / А.Б. Коток, Б. Хасселблат. – М. : МЦНМО, 2005.

Відомості про авторів

Смирнов Владимир Сергеевич – д.т.н., профессор, Государственный университет телекоммуникаций МОН Украины,

Самков Александр Всеволодович – д.т.н., старший научный сотрудник Института электродинамики НАН Украины, samkov@ied.org.ua

Иваниченко Евгений Владимирович – аспирант, Государственный университет телекоммуникаций МОН Украины,

Беленок Надежда Владимировна – аспирант, Государственный университет телекоммуникаций МОН Украины.