

УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ОХРАННОГО МОНИТОРИНГА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Канушкин С.В.*

Ключевые слова: управление, бинарность, робототехнический комплекс, беспилотный летательный аппарат, мониторинг.

Аннотация.

Цель работы: обоснование необходимости и целесообразности использования принципа бинарности при создании систем управления робототехническими комплексами охранного мониторинга, функционирующих в условиях различных типов неопределенностей.

Метод: комплексный теоретико-прикладной синтез управления на основе принципа бинарности, который использует переменные состояния нелинейной динамической системы как координату, и те же самые переменные считает оператором.

Результаты: обоснована необходимость и целесообразность использования бинарных алгоритмов управления в условиях параметрических, функциональных, структурных и сигнальных неопределенностей управленческих моделей. Предложен алгоритм управления, который при малых аддитивных возмущениях становится линейным и обеспечивает малый расход топлива на управление. При больших аддитивных возмущениях возрастает коэффициент усиления в первом и третьем квадрантах фазовой плоскости и обеспечивается за счет увеличения быстродействия уменьшение составляющей вектора максимального отклонения по фазовым координатам.

Сделан вывод о целесообразности применения алгоритмов бинарного управления робототехническими комплексами охранного мониторинга в условиях неопределенности.

DOI: 10.21681/1994-1404-2019-2-40-48

Основными целями роботизации правоохранительных органов является придание нового качества используемым средствам в интересах повышения эффективности выполнения задач, снижения потерь и уменьшения финансовых затрат. При этом особое внимание уделяется рациональному сочетанию возможностей человека и техники [1, 9, 10, 12].

В настоящее время основной задачей считается определение технических путей и экономической целесообразности создания роботизированных унифицированных платформ, а также решение вопросов интеграции робототехнических комплексов (РТК) в системы управления и связи. Достигнутый уровень развития технологий робототехники позволяет реализовать системный подход [13] в области роботизации и осуществить поэтапный переход от создания отдельных образцов к разработке семейства РТК [4, 16].

Система управления робототехническими комплексами включает подсистемы управления поведением,

движением и исполнительными механизмами. Многокритериальность оценки качества функционирования РТК возникает ввиду многообразия целей и математически некорректной формализации глобальной цели [4—8].

Особенностью построения систем управления мобильных роботов является то, что они, как правило, строятся по иерархическому многоуровневому принципу. При повышении иерархического ранга подсистемы повышается ее степень интеллектуальности. Верхним звеном данной иерархии является система управления поведением. Затем следуют системы управления движением. Системы управления исполнительными механизмами представляют собой низшие звенья этой иерархии. Во многом возможности робота определяются свойствами информационно-измерительной системы, которая, безусловно, должна обладать элементами интеллекта [15, 16].

Дистанционно пилотируемые аппараты, включая беспилотные летательные аппараты, играют большую роль для мониторинга площадных охраняемых объек-

* Канушкин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент Военной академии имени Петра Великого, Российской Федерации, г. Москва.

E-mail: kan.cer59@yandex.ru

тов в системе правоохранительных¹ органов [9, 10]. При решении данной задачи крайне важно оперативное получение данных о наблюдаемой обстановке на периметре и внутри объекта.

Робототехнические комплексы представляют собой многосвязные многомерные нелинейные динамические объекты. Для создания высокоэффективных систем управления РТК следует применять методы синтеза, позволяющие в полной мере учесть их особенности, а также обеспечить надежное функционирование синтезируемых робототехнических систем во всей допустимой области изменения фазовых координат.

Специфика структурных и функциональных свойств систем управления РТК позволяет выделить их следующие динамические особенности: *многосвязность, нелинейность и многомерность*. Отмеченные характерные особенности требуют перехода на новые концептуальные основы проектирования систем управления РТК. Такой фундаментальной направляющей концепцией может быть *концепция* управляемого взаимодействия энергии, вещества и информации, в основе которой лежат методы синергетической теории управления [11].

Требования высокой точности управления обуславливают необходимость разработки синергетических методов синтеза интеллектуальных систем управления автономными мобильными РТК, работающими в условиях неопределенной внешней среды.

Известно, что управление в иерархических моделях, даже расширенных классической системой обратных связей, не обеспечивает эффективность оценок, так как по мере углубления на новый уровень иерархии связи и полученные функциональные зависимости несут в себе все возрастающие смещения (ошибки). В силу того, что современные мобильные роботы являются нелинейными объектами управления, которые непрерывно взаимодействуют с внешней средой, то для решения данной задачи целесообразно применить методы и принципы *направленной самоорганизации* или синергетической теории управления робототехническими системами [11, 15].

При управлении подвижными объектами, такими, как мобильные роботы, часто имеют место различные неопределенности, когда цели, траектории движения, свойства среды функционирования, внешние воздействия и др. заранее неизвестны. При управлении подвижными РТК можно выделить параметрическую, функциональную, структурную и сигнальную типы неопределенностей управленческих моделей (рис. 1). Неопределенность — это ситуация, при которой полностью или частично отсутствует информация о вероятных будущих событиях, т. е. неопределенность — это то, что не поддается оценке.



Рис. 1. Виды неопределенностей в задаче управления робототехническими системами

Управление динамическими объектами в условиях неопределенности является одной из основных проблем современной теории управления. Отсутствие полных сведений относительно параметров или характеристик объекта управления приводит к структурной параметрической неопределенности математической модели. Под структурированными параметрическими неопределенностями понимают неопределенность параметров модели, когда её структура известна. Эти неопределенности обладают интервальными свойствами, т. е. параметры модели могут принимать любые значения внутри заданных для них интервалов.

Параметрическая неопределенность означает, что неизвестными являются постоянные параметры математической модели. Значения параметров, использованные при синтезе алгоритма управления, называют номинальными. Во многих практических случаях реальные значения параметров могут существенно отличаться от принятых номинальных. Параметрическая неопределенность означает, что структура модели известна, а параметры могут отличаться от номинальных. Основными факторами, влияющими на появление разбросов параметров в системе, являются:

Неточность проектирования, которая, как правило, связана с системой допущений, принимаемых при проектировании робототехнических систем.

Технологические — определяются неточностью обеспечения расчетных значений параметров при изготовлении элементов системы.

Эксплуатационные — действуют в условиях экстремального полета, к ним можно отнести: климатические условия, электромагнитные и радиационные факторы, а также противодействие противника.

Функциональная неопределенность означает, что математическая модель объекта содержит неизвестные функциональные зависимости координат состояния, регулируемых переменных или сигналов управления. Существуют различия между математической моделью, используемой для разработки робототехнической системой, и реальной динамикой системы; причины возникновения этих различий следующие:

¹ См., например: Гришин Д. С. Федеральный закон (Проект) «О внесении изменений в Гражданский кодекс Российской Федерации в части совершенствования правового регулирования отношений в области робототехники», 2016.

Информационные и электронные технологии в правовой сфере

- начальные условия системы не могут быть указаны точно или совершенно неизвестны;
- математическая модель любой реальной системы всегда есть лишь аппроксимация реальной динамики системы.

Эффективность подавляющего большинства известных схем существенно связана с необходимостью полного измерения переменных состояния объектов, что часто противоречит возможностям практики.

Сигнальная неопределенность означает, что на объект управления действует неизмеримый сигнал или сигнал с априори неизвестными параметрами (амплитуда, частота и др.) внешнего (экзогенного) или внутреннего (эндогенного) происхождения, такие сигналы, отклоняющие процесс управления от желаемого его хода, принято называть *возмущениями*. На поведение реальных систем управления значительное влияние оказывает окружающая среда, т. е. неконтролируемые внешние факторы, которые характеризуются высокой степенью неопределенности.

Структурная неопределенность означает, что структура математической модели является неточно известной. Как правило, структурная неопределенность выражается в том, что динамический порядок реального объекта оказывается выше порядка его математической модели. В связи с этим модель является функционально неопределенной. При этом говорят о наличии у объекта не моделируемой (паразитной) динамики. В большинстве случаев структурная неопределенность вызвана неполнотой знания аналитической структуры уравнений модели объекта управления. При не полностью определенной передаточной матрице объекта неопределенность объекта может быть аддитивной, дробно-рациональной или мультипликативной² [15].



Рис. 2. Схема системы управления с аддитивной неопределенностью регулятора

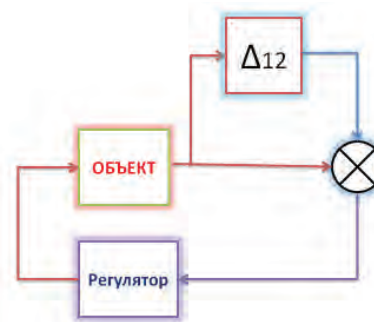


Рис. 3. Схема системы управления с мультипликативной неопределенностью выходного сигнала с объекта

Виды неопределенностей, охваченные нормализованной задачей управления, можно представить в виде структурных схем (рис. 2—5). Каждый элемент неопределенности имеет свою интерпретацию, а именно:

Δ_{11} — соответствует «аддитивной» неопределенности регулятора (рис. 2);

Δ_{12} — соответствует «выходной мультипликативной» неопределенности (рис. 3);

Δ_{21} — соответствует «входной мультипликативной» неопределенности объекта (рис. 4);

Δ_{22} — соответствует аддитивной неопределенности объекта (рис. 5).

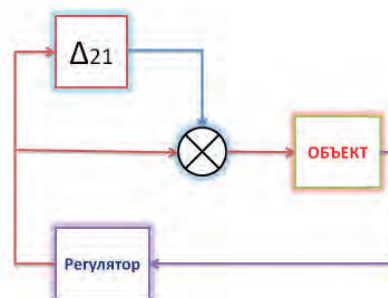


Рис. 4. Схема системы управления с мультипликативной неопределенностью входного сигнала на объект



Рис. 5. Схема системы управления с аддитивной неопределенностью объекта

² См.: Никифоров В.О., Слита О.В., Ушаков А.В. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности : учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. 226 с.

Необходимо синтезировать регулятор, при котором робастная устойчивость гарантирована каждому из четырех типов неопределенностей.

В условиях неопределенности первостепенную роль приобретают алгоритмы управления, позволяющие достигать цели управления, по возможности, за конечное время и обладающие свойством устойчивости по отношению к изменениям параметров и действию возмущений. Задача синтеза робастного управления состоит в том, чтобы обеспечить устойчивость замкнутой системы не только для номинального объекта, но и любого объекта из заданного класса неопределенности.

В настоящее время существует несколько десятков подходов, специально развиваемых для исследования технических систем с элементами неопределенности. Основными из них являются адаптивные (самоорганизующиеся), робастные, интеллектуальные (на основе нейрноподобных сетей и «мягких» вычислений), инвариантные принципы построения систем автоматического управления.

Из перечисленных выше подходов особый интерес представляют алгоритмы робастного управления, которые к настоящему времени широко применяются в исследованиях различных систем автоматического управления.

Робастной называется система, обладающая устойчивостью (грубостью) свойств по отношению к изменениям параметров и действию возмущений [15]. Преимуществом такого подхода является то, что предоставляется возможность использовать интервальные методы, обладающие рядом особенностей, среди которых не требуется знание вероятностных характеристик неопределенностей, а также точного знания самих исходных параметров объекта управления, поскольку эти значения укладываются в определенный интервал.

В связи с этим выбор того или иного метода исследования СУ зависит от условий решения конкретной задачи управления, а также имеющегося в наличии у исследователя программного обеспечения, реализующего тот или иной метод. Единой теории в настоящее время не предложено. Поэтому укажем несколько альтернативных подходов, позволяющих ответить на поставленный вопрос в его различных постановках или для ряда важных частных случаев:

1) теория грубости свойств систем управления позволяет определить условия, при которых сохраняется то или иное желаемое свойство замкнутой системы при изменениях ее математической модели;

2) теория чувствительности использует гипотезу малости вариаций (неопределенности) параметров относительно их номинальных значений и с помощью функций чувствительности позволяет оценивать влияние параметрической неопределенности на траектории системы и показатели их качества;

3) теория интервальных систем допускает гипотезу произвольной неопределенности параметров, принадлежащих прямоугольному параллелепипеду в про-

странстве параметров, и решает задачу поиска условий устойчивости для значений вектора параметров, соответствующих угловым точкам параллелепипеда;

4) теория сингулярно возмущенных систем позволяет исследовать свойства замкнутых систем управления с паразитной динамикой.

Теория адаптивных и робастных систем изучает методы управления неопределенными объектами, для которых являются неприменимыми методы классической теории управления.

Робастные (грубые) системы — это системы управления, обеспечивающие приемлемое (в смысле некоторого критерия) качество при наличии параметрических, сигнальных, функциональных или структурных неопределенностей объекта управления. При этом, как правило, в ходе рабочего функционирования системы коэффициенты регулятора не подстраиваются, а малая чувствительность (т. е. грубость или робастность) к различного рода вариациям математической модели объекта достигается за счет специальным образом выбранной структуры регулятора (алгоритма управления). Поэтому робастные системы относятся к классу не настраиваемых систем управления, а их малая чувствительность к различного рода вариациям математической модели объекта обеспечивается на этапе синтеза алгоритма управления.

Адаптивные (самонастраиваемые) системы — это системы управления, обеспечивающие компенсацию параметрических, сигнальных, функциональных или структурных неопределенностей объекта управления за счет автоматической подстройки регулятора в ходе рабочего функционирования системы. Другими словами, адаптивные системы восполняют нехватку априорной информации об объекте управления в ходе рабочего функционирования. В этом смысле они могут также называться самообучающимися системами.



Рис. 6. Схема системы нелинейного робастного управления

В нелинейных робастных системах малая чувствительность к различным вариациям математической модели объекта управления обеспечивается за счет дополнительного введения в алгоритм управления специальной статической нелинейной обратной связи (рис. 6). При этом даже для линейных объектов управ-

ления закон управления оказывается нелинейным. Свойство статических нелинейных законов управления улучшать качество замкнутых систем или обеспечивать нулевую чувствительность к параметрическим или сигнальным возмущениям было установлено достаточно давно.

Принцип построения *идентификационных* адаптивных систем (или систем с косвенной адаптацией) основан на использовании процедуры идентификации объекта, т. е. на получении оценок его параметров или динамических характеристик. Полученные оценки используются далее для расчета коэффициентов регулятора. Для этого в своей структуре идентификационные адаптивные системы содержат (рис. 7) блок (алгоритм) идентификации, вырабатывающий оценки неизвестных параметров объекта управления. Основной отличительной чертой адаптивных (самоадаптирующихся) систем является наличие *дополнительной обратной связи*, образованной цепью настройки параметров регулятора. Такая обратная связь получила название *параметрической*, в отличие от сигнальной обратной связи, образованной непосредственно регулятором.

Целенаправленное использование нелинейностей в управлении позволяет запускать в оборот принципиально новые, «несиловые», механизмы подавления факторов неопределенности. Это, в частности, приемы, базирующиеся на использовании *положительной* обратной связи и неустойчивых движений и позволяющие системе «саморазгоняться» до тех пор, пока не возникнут условия для подавления помех и факторов неопределенности. Именно положительная обратная связь и неустойчивость в ряде задач играют ключевую роль.



Рис. 7. Схема идентификационной адаптивной системы управления

Задачу стабилизации не следует рассматривать узко, и что многие важные проблемы теории управления могут быть сведены к задаче стабилизации, например проблемы дифференцирования и оптимизации.

Отметим один из наиболее мощных методов решения задач стабилизации в условиях неопределенности — *метод глубокой обратной связи*, который для линейного случая сводится к использованию в регуляторе большого коэффициента усиления. Принимая во внимание принципиальную возможность разреше-

ния задачи, следует искать альтернативные методы. Это означает, что в реализации автоматического синтеза стабилизирующих регуляторов в условиях неустраиваемой неопределенности по априорной и текущей информации много эвристики.

Эффективность подавляющего большинства известных схем существенно связана с необходимостью полного измерения переменных состояния объектов, что часто противоречит возможностям практики.

Предлагаемый алгоритм управления использует переменные состояния нелинейной динамической системы как координату, и те же самые переменные считает оператором. Двойственное толкование переменных позволяет получить *бинарный алгоритм управления* [2, 3, 17].

Помимо требования устойчивости, к системе управления летательным аппаратом предъявляются определенные требования по ее качеству. Критериев качества системы управления много. Выбор частных критериев — это эвристическая трудно формализуемая задача, решение которой затрудняется необходимостью удовлетворения следующих отчасти противоречивых условий: *полнота, минимальность, неизбыточность, операциональность, декомпозируемость, измеримость*.

Возникает необходимость в применении новых (новаторских) принципов управления, учитывающих особенности таких объектов. Одним из таких принципов является применение теории бинарных систем, использующих местные глубокие обратные связи, когда необходимые условия реализуются локально, в каком-то месте фазового пространства системы. Теория бинарных систем является одним из направлений развития принципов адаптивного управления. Суть этого подхода состоит в систематическом применении при структурном синтезе системы *принципа регулирования* по отклонению и расширению на этой основе множества типов обратных связей. Введенное различие между переменными-координатами и переменными-операторами следует понимать условно, как удобный для использования методологический приём. Переменную называют координатой, если над ней осуществляется то или иное преобразование, и ту же самую переменную считают оператором, если она определяет вид преобразования, выполняемого над какой-либо координатой. Двойственное толкование переменных состояния нелинейной динамической системы принято именовать *принципом бинарности* [2 — 8, 17].

Рассмотрим *стандартную задачу* стабилизации неопределенного объекта в условиях, когда по априорной информации о координатном и операторном возмущениях требуется выбрать оператор стабилизирующей обратной связи. В качестве объекта управления выберем *беспилотный летательный аппарат* (БПЛА), динамика которого в общем виде описывается уравнением вида:

$$\dot{x} = A(t)x + b(t)u + \lambda, \quad (1)$$

где $x^T = (x_1 \dots x_n)$ — вектор состояния движения БПЛА;

$b^T = (b_1 \dots b_n)$, u — управляющие воздействия; $A(t)$ — фундаментальная матрица размера $[n \times n]$ с элементами a_{ij} , $i, j = 1, \dots, n$; λ — аддитивные возмущения (параметры и изменяются в определенных пределах).

Многокритериальность проявляется при наличии трудносравнимых между собой критериев. Многокритериальность задачи создает сложности формирования целевой функции и приводит к множеству возможных решений. Существенная многокритериальность характеризуется наличием многих формализованных критериев, их несоизмеримостью между собой, что не позволяет на достаточно объективной и достоверной основе свести все эти критерии в свёртку — единственный скалярный критерий, что требует рассматривать эти критерии как некоторую совокупность или вектор [4—7].

Необходимо найти эффективное управление $U = U(x, t)$, при котором минимизируется критериальный вектор $I\{I_1, I_2\}$:

$$I_1 = \min \int_0^T 1 dt; I_2 = \min(x_i^{\max}(t)). \quad (2).$$

Решение задачи можно искать в классе бинарных систем [2—6]. Теория бинарного управления отражает идеологию единства процессов самоорганизации и управления, т. е. представляет собой своего рода симбиоз кибернетики и синергетики [12, 13]. Основная особенность заключается в формировании нового механизма генерации нелинейных обратных связей. Введение бинарного управления в процедуру синтеза систем позволяет построить регулярный механизм аналитической генерации естественной совокупности отрицательных и положительных обратных связей, которые формируют процессы направленной самоорганизации.

Методологическое отличие между подходом к синтезу бинарных систем и подходом к построению большинства адаптивных систем управления заключается в замене принципа регулирования по возмущению или о его оценкам на принцип регулирования по отклонению для компенсации операторных (параметрических) возмущений в операторе объекта регулирования.

По мере усложнения задачи стабилизации все большая роль отводится нелинейности. Кроме того, выясняется, что без нелинейной обратной связи не может быть хорошей стабилизации и именно нелинейная обратная связь наделяет систему управления способностью демонстрировать «нужное» поведение в сложных и постоянно изменяющихся внешних и внутренних условиях. Оказывается, что с некоторого уровня сложности задачи «хороший» регулятор обязательно будет нелинейным. Известно, что в нелинейном мире нет регулярных путей и универсальных методов, характерных для локальных теорий, так как специфика нелинейности часто играет решающую роль.

Бинарное управление является достаточно эффективным средством стабилизации неопределенного объекта, поскольку:

- нет необходимости иметь полную информацию о фазовом векторе объекта;
- допускаются как нестационарная неопределенность, так и произвольные внешние воздействия;
- учитывается «разнотемповость» физических процессов, протекающих в реальной системе на различных участках фазового пространства.

Представим структуру алгоритма управления в виде:

$$U(x, t) = \mu(x, t) \cdot \Phi(x, t), \quad (3)$$

где $\mu(x, t)$ — оператор передачи координатно-параметрической обратной связи (КПОС); $\Phi(x, t)$ — оператор передачи координатной обратной связи (КОС).

Принцип скаляризации тесно связан с новыми типами обратной связи и принципом бинарности. Если переменную взять в качестве ошибки координатно-операторной (КО) обратной связи, а также КО-контура регулирования и использовать КО-обратную связь, то естественным образом возникает стандартная для теории бинарного управления структура. Обеспечение разнообразности обратных связей на всех уровнях определяет интенсивность процессов взаимодействия. Отрицательные обратные связи сохраняют стабильность функций системы, ее параметров, устойчивость к случайным воздействиям. Положительные обратные связи выполняют задачу усилителей процессов и имеют большое значение для создания изменений. Наличие отрицательных и положительных обратных связей обеспечивают возможность развития по заданному алгоритму и использование *внешней и внутренней информации*³.

При известных параметрах объекта влияние неконтролируемых внешних сил на процесс регулирования можно уменьшить до желаемых пределов путем соответствующего выбора оператора обратной связи с конечными, но, вообще говоря, с переменными параметрами. Если параметры изменяются во времени неизвестным образом, а пределы их изменения достаточно велики, то проблема выбора надлежащей обратной связи сильно усложняется. В этом случае возникает необходимость в использовании для различных значений своего закона обратной связи, отличающегося не только значениями параметров, но и видом самого преобразования.

Оператор передачи КПОС определим следующим образом:

$$\mu(x, t) = -KS_1 / (\Delta|S_0| + |S_1|),$$

где $S_0 = (x_1, \dots, x_K)$, $S_1 = (x_{K+1}, \dots, x_n)$.

Систему сравнения зададим равенством:

$$Cx(t) = 0,$$

где C — вектор строки коэффициентов.

Оператор передачи КОС для критериального вектора (2) получим в виде:

$$\Phi(x, t) = \sum_{i=1}^K K_i \cdot S_0 + \sum_{i=K+1}^n K_j \cdot S_1.$$

³ См.: Ловцов Д. А. Информационные показатели эффективности функционирования АСУ сложными динамическими объектами // Автоматика и Телемеханика. 1994. № 12. С. 143—150.

Отсюда, алгоритм управления, оптимизирующий критериальный вектор (2), имеет вид:

$$U(x, t) = \frac{S_1 \cdot K}{\Delta|S_0| + |S_1|} \cdot \Phi(x, t). \quad (4)$$

Следовательно, при малых аддитивных возмущениях алгоритм управления становится линейным и обеспечивает малый расход топлива на управление. При больших аддитивных возмущениях возрастет коэффициент усиления КПОС и обеспечивается оптимизация второй составляющей вектора критериальных функций, т. е. минимизация максимального отклонения по фазовым координатам. Проведенное исследование показало, что с помощью КО-связи можно значительно повысить качество переходных процессов бинарной системы управления [4—8].

Изменение во времени параметров объекта управления принципиально не меняет описанного подхода, так как уравнения движения при этом остаются прежними. Таким образом, использование свойств бинарно-

сти при управлении летательными аппаратами позволяет получить *парето-оптимальное управление* [12, 13] при действии как аддитивных, так и мультипликативных возмущений.

В первом и третьем квадрантах фазовой плоскости возмущающий момент совпадает по направлению с аэродинамическим, следовательно, движение в данных квадрантах во многом определяет не только устойчивость, но и качество управления. Предлагаемый алгоритм (3)—(4) использует переменные состояния нелинейной динамической системы как координату, и те же самые переменные считает оператором. Двойственное толкование переменных позволяет получить бинарный алгоритм управления следующего вида:

$$U = k_{\psi} \Psi + k_{\dot{\psi}} \dot{\Psi} + U_{\text{бин}},$$

где $U_{\text{бин}}$ — бинарная составляющая управления.

Бинарная составляющая управления определяется следующим образом:

$$U_{\text{бин}} = - \text{Sign}(\psi) \cdot [\psi \dot{\psi} + \dot{\psi} \text{Sign}(\dot{\psi})] = \begin{cases} -2\psi \dot{\psi} & \text{в 1 квадранте,} \\ 0 & \text{в 2 квадранте,} \\ 0 & \text{в 4 квадранте,} \\ 2\psi \dot{\psi} & \text{в 3 квадранте.} \end{cases}$$

В среде *MATLAB Simulink* проведено моделирование канала стабилизации БПЛА с линейным и бинарным алгоритмом управления. Предлагаемый алгоритм бинарного управления предпочтительнее, он доминирует по всем показателям, следовательно, он более эффективен [18].

Таким образом, в работе обоснована возможность и необходимость применения принципа бинарного управления РТК в условиях неопределенности. Теория бинарных систем является одним из направлений развития адаптивного управления, в котором двойственное толкование переменных состояния нелинейной динамической системы принято именовать принципом

бинарности. Основной *положительный эффект* при использовании рассмотренного алгоритма достигается за счет того, что в первом и третьем квадрантах фазовой плоскости возмущающий момент может совпадать по направлению с аэродинамическим, следовательно, движение в данных квадрантах во многом определяет не только устойчивость, но и качество управления. За счет использования бинарной составляющей управления обеспечивается повышение быстродействия системы на данных участках при действии внешних возмущений, чем обеспечивается минимизация критериального вектора (2).

Рецензент: **Алексеев Владимир Витальевич**, член редколлегии, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и защита информации» ТГТУ, г. Тамбов, Россия.
E-mail: vvalex@yandex.ru

Литература

1. Балюков А.А., Зайцев А.В., Канушкин С.В. Модель движения беспилотного летательного аппарата с использованием интеллектуальных технологий // Труды воен.-науч. конф. «Роботизация Вооруженных Сил Российской Федерации». М.: МО РФ, 2016. С. 198—204.
2. Емельянов С.В. Бинарные системы автоматического управления. М.: МНИИПУ, 1984. 313 с.
3. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. М.: Наука, 1997. 352 с.
4. Зайцев А.В., Канушкин С.В. Возможности управления многосвязными динамическими робототехническими системами // Труды XVI Всеросс. науч. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение». М.: МГППУ, 2018. С. 61—62.
5. Зайцев А.В., Канушкин С.В. Особенности бинарного управления беспилотным летательным аппаратом // Труды XVI Всеросс. науч. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение». М.: МГППУ, 2018. С. 62—63.
6. Зайцев А.В., Канушкин С.В. Реализация бинарного управления в системах с параметрическими обратными связями // Труды VIII Всеросс. науч.-прак. конф. «Современное непрерывное образование и инновационное развитие» ФГАУ «ФИРО». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2018. Т. 1. С. 185—187.

7. Зайцев А.В., Канушкин С.В. Управление робототехническими системами в условиях неопределенности // Труды XVII Труды XVI Всеросс. науч. конф. «Нейрокомпьютеры и их применение». М. : МГППУ, 2019. С. 359—360.
8. Зайцев А.В., Канушкин С.В., Шишкин К.В., Барыкин Д.А., Сачук А.П. Нелинейные обратные связи в управлении движением ракеты при неопределенности // Науч.-техн. сб. трудов Филиала ВА РВСН. Серпухов : ФВА, 2018. С. 154—156.
9. Канушкин С.В. Правовые аспекты реализации функциональных возможностей интеллектуальных роботов в работе правоохранительных органов // Правовая информатика. 2018. № 2. С. 23—38.
10. Канушкин С.В. Синергетический подход в управлении группой беспилотных летательных аппаратов интеллектуальной системы охранного мониторинга // Правовая информатика. 2018. № 3. С. 25—37.
11. Колесников А.А., Веселов Г.Е., Вавилов О.Т. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления. Ч. II / Под ред. А.А. Колесникова. Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2000. 559 с.
12. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. М. : Наука, 2005. 248 с.
13. Ловцов Д. А. Системный анализ. Часть. 1. Теоретические основы. М. : Росс. гос. университет правосудия, 2018. 224 с.
14. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов : монография. М. : Технолоджи-3000, 2019. 164 с.
15. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 616 с.
16. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов. Казань : РИЦ «Школа», 2015. 444 с.
17. Пунь А.Б., Гаврилов Д.А., Щелкунов Н.Н., Фортунатов А.А. Алгоритм адаптивной бинаризации объектов в видеопоследовательности в режиме реального времени // Успехи современной радиоэлектроники. 2018. № 8. С. 40—48.
18. Система угловой стабилизации / Канушкин С.В., Зайцев А.В., Волков А.В., Шишкин К.В., Сачук А.П. Патент на полезную модель № 182886 по заявке № 2018117102, приоритет от 07.05.2018.

CONTROLLING SECURITY MONITORING ROBOTIC COMPLEXES UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Sergei Kanushkin, Ph.D. (Technology), Associate Professor at the Peter the Great Military Academy, Moscow, Russian Federation.

E-mail: kan.cer59@yandex.ru

Keywords: control, binarity, robotic complex, unmanned aerial vehicle (UAV), monitoring.

Abstract.

Purpose of the work: justifying the need and advisability of using the binarity principle in creating control systems for security monitoring robotic complexes operating under the conditions of various types of uncertainty.

Method used: complex theoretical and applied synthesis of control based on the binarity principle using non-linear dynamic system state variables as coordinates and considering these variables as an operator.

Results obtained: a justification is given for the need and advisability of using binary control algorithms under the conditions of parametric, functional, structural and signal uncertainties of control models. A control algorithm is proposed that becomes linear at small additive perturbations and provides low fuel consumption for control. For large additive perturbations, the amplification factor in the first and third quadrants of the phase plane increases and, due to the increase in speed, a decrease in the phase coordinates component of the maximum deviation vector is provided.

A conclusion is made that it is advisable to use binary control algorithms for security monitoring robotic systems under conditions of uncertainty.

References

1. Baliukov A.A., Zaitsev A.V., Kanushkin S.V. Model' dvizheniia bespilotnogo letatel'nogo apparata s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologii, Trudy voen.-nauch. konf. "Robotizatsiia Vooruzhennykh Sil Rossiiskoi Federatsii", М. : MO RF, 2016, pp. 198-204.
2. Emel'ianov S.V. Binarnye sistemy avtomaticheskogo upravleniia, М. : MNIIPU, 1984, 313 pp.
3. Emel'ianov S.V., Korovin S.K. Novye tipy obratnoi svyazi: Upravlenie pri neopredelennosti, М. : Nauka, 1997, 352 pp.

4. Zaitsev A.V., Kanushkin S.V. Vozmozhnosti upravleniia mnogosviaznyimi dinamicheskimi robototekhnicheskimi sistemami, Trudy XVI Vseross. nauch. konf. "Neirokomp'yutery i ikh primeneniye", M. : MGPPU, 2018, pp. 61-62.
5. Zaitsev A.V., Kanushkin S.V. Osobennosti binarnogo upravleniia bespilotnym letatel'nyim apparatom, Trudy XVI Vseross. nauch. konf. "Neirokomp'yutery i ikh primeneniye", M. : MGPPU, 2018, pp. 62-63.
6. Zaitsev A.V., Kanushkin S.V. Realizatsiia binarnogo upravleniia v sistemakh s parametricheskimi obratnymi svyazi-ami, Trudy VIII Vseross. nauch.-prak. konf. "Sovremennoe nepreryvnoe obrazovanie i innovatsionnoe razvitie" FGAU "FIRO". Serpukhov : MOU "IIF", 2018, t. 1, pp. 185-187.
7. Zaitsev A.V., Kanushkin S.V. Upravlenie robototekhnicheskimi sistemami v usloviakh neopredelennosti, Trudy XVII Trudy XVI Vseross. nauch. konf. "Neirokomp'yutery i ikh primeneniye", M. : MGPPU, 2019, pp. 359-360.
8. Zaitsev A.V., Kanushkin S.V., Shishkin K.V., Barykin D.A., Sachuk A.P. Nelineinye obratnye svyazi v upravlenii dvizheniem rakety pri neopredelennosti, Nauch.-tekhn. sb. trudov Filiala VA RVSU. Serpukhov : FVA, 2018, pp. 154-156.
9. Kanushkin S.V. Pravovye aspekty realizatsii funktsional'nykh vozmozhnostei intellektual'nykh robotov v rabote pravookhranitel'nykh organov, Pravovaia informatika, 2018, No. 2, pp. 23-38.
10. Kanushkin S.V. Sinergeticheskii podkhod v upravlenii gruppoi bespilotnykh letatel'nykh apparatov intellektual'noi sistemy okhrannogo monitoringa, Pravovaia informatika, 2018, No. 3, pp. 25-37.
11. Kolesnikov A.A., Veselov G.E., Vavilov O.T. Sovremennaya prikladnaya teoriya upravleniia: Sinergeticheskii podkhod v teorii upravleniia. Ch. II, pod red. A.A. Kolesnikova, Taganrog : Izd-vo TRTU, 2000, 559 pp.
12. Lovtsov D. A. Informatsionnaya teoriya ergasistem: Tezaurus, M. : Nauka, 2005, 248 pp.
13. Lovtsov D. A. Sistemnyi analiz. Chast' 1. Teoreticheskie osnovy, M. : Ross. gos. universitet pravosudiya, 2018, 224 pp.
14. Lovtsov D. A., Gavrilov D. A. Modelirovaniye optiko-elektronnykh sistem distantsionno pilotiruemykh apparatov : monografiya, M. : Tekhnolodzhi-3000, 2019, 164 pp.
15. Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniia. T. 3. Sintez regulatorov sistem avtomaticheskogo upravleniia, pod red. K.A. Pupkova, N.D. Egupova, M. : MG TU im. N.E. Bauman, 2004, 616 pp.
16. Moiseev V.S. Osnovy teorii effektivnogo primeneniia bespilotnykh letatel'nykh apparatov, Kazan' : RITs "Shkola", 2015, 444 pp.
17. Pun' A.B., Gavrilov D.A., Shchelkunov N.N., Fortunatov A.A. Algoritm adaptivnoi binarizatsii ob'ektov v videoposledovatel'nosti v rezhime real'nogo vremeni, Uspekhi sovremennoi radioelektroniki, 2018, No. 8, pp. 40-48.
18. Sistema uglovoi stabilizatsii, Kanushkin S.V., Zaitsev A.V., Volkov A.V., Shishkin K.V., Sachuk A.P. Patent na poleznuuiu model' No. 182886 po zaiavke No. 2018117102, prioritet ot 07.05.2018.