

Проблемы управления объектами в условиях неопределённости

П. С. Котов

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет), Financial University
pkotov@yandex.ru

Аннотация. Управление в условиях неопределенности является важным составляющим в общей проблеме управления. Решение задач управления считается недопустимым без применения особых методов, информационных, интеллектуальных и прочих технологий. Однако решение проблемы становится затруднительным из-за существования различных трактовок понятия «неопределенность».

Ключевые слова: неопределенность; измерения; вероятность; связи; объект

Имеющаяся теория учета неопределенности для задач управления имеет общий недостаток, который необходимо учитывать. Действительное управление обзревает не просто объект управления, но и его окружение, то есть окружающую ситуацию. А вот теория управления не включает рассмотрение информационной ситуации ни как объект и ни как фактор управления. Вот что и порождает информационную неопределенность в управлении. В наше время активно разрабатываются новые методы анализа трудных информационных случаев, но они не представляются объективным явлением управления. Выделяют 2 вида неопределенности: информационную и ситуационную. Задачи управления в условиях неопределенности обусловлены разными факторами. Так, управленческая информация может представлять из себя как слабоструктурированные, так и неструктурированные информационные системы. Также она может иметь необходимую информацию, но при этом включать сложность содержания и слишком существенный объем, что делает её слабовосприимчивой и местами непонятной. Ко всему прочему, она может включать как полезную информацию, так и бесполезную, но даже иногда наблюдается дезинформация. Для раскрытия неопределенности теория принятия решений использует аппарат теории нечетких множеств, но данный метод по всем меркам представляется частным, ведь он не рассматривает все случаи информационной неопределенности.

I. ПОНЯТИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА И КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Общепринятые способы разбора (а именно синтеза и анализа) систем управления обусловлены тем, что математическая модель объекта определёнno подробно и точно описывает его действия. Такие способы принято комбинировать под общим названием классической теории управления. Но, как известно, для современных методов

решения задач управления присущ достаточно скептический взгляд на точность математических моделей, находящихся у разработчика. Ведь, как принято, любая модель содержит упрощённую характеристику настоящего объекта. А также, какое-либо описание объекта может быть уже известным заранее или сильно измениться во время самой работы. Так или иначе говорят о той самой неопределенности математической модели объекта. Математическая модель, которая положена в систему синтеза алгоритма управления, считают и обозначают номинальной. При имеющейся значительной неопределенности классические методы теории управления перестают быть активно применимыми или же в конечном итоге дают безуспешные результаты. При таких ситуациях важно использование особых методов разбора, а именно анализа и синтеза систем управления с неопределёнными математическими моделями.

Стоит отметить факторы неопределённости, представляющие из себя источники. Они разделяются на 3 главные группы:

1. ограниченность информации о ситуации, обстановке, такая информация непосредственно используется в принятии решения по оценке качества функционирования;
2. факторы, возникающие при нечеткости, ограниченности знаний человека (мышления) – то есть показывает неопределенность, выражающуюся в связи человека с системой и средой, которая его окружает;
3. факторы, обусловленные недостаточностью имеющихся знаний, неопределенностью, неточностью использования этих знаний в исполнении различных математических и логических методов сбора и обработки информации, принятия управленческих решений.

Рассмотрим типы неопределённости математических моделей, которые принято выделять:

Итак, тип – параметрическая неопределенность. Она характеризуется тем, что постоянные параметры математической модели являются закрытыми (неизвестными). А значения этих параметров, которые непосредственно участвуют при синтезе алгоритма управления, считают номинальными. Практика показывала и много случаев, когда действительные значения параметров значительно отличались от номинальных.

Следующий тип – сигнальная неопределенность. Он характеризуется тем, что на объект управления влияет неизмеримый сигнал (сигнал с неизвестными параметрами), эти сигналы, уводящие процесс с нужного

направления, еще называют возмущениями. Еще один тип – функциональная неопределенность. Он характеризуется тем, что математическая модель объекта включает в себя неизвестные функциональные связи, зависимости координат состояния. И последний тип – структурная неопределенность. Он характеризуется тем, что отображает, структуру математической модели, которая обозначается точно неизвестной. Так, структурная неопределенность выражается в том, что порядок реального объекта оказывается выше порядка его математической модели. Стоит добавить, что неопределенности на этапе синтеза управления делятся на априорные и текущие. Априорная неопределенность есть уже на самом моменте синтеза системы, она может быть обусловлена отсутствием данных (информации) о свойствах объекта управления и условиях его функционирования, не нахождением четкого описания математического объекта и пр. Текущая неопределенность представляет собой излишние, ненужные изменения параметров математической модели объекта в ходе его рабочей эксплуатации. Таким образом, большое количество действительных объектов, с точки зрения точности математических моделей этих объектов, являются в какой-либо степени неопределенными.

II. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Рассмотрим вытекающие проблемные вопросы, которые возникают во время синтеза систем управления неопределёнными объектами. Обратимся к первому вопросу: Возможно ли применение способов традиционной (классической) теории управления неопределенными объектами? И в случае возможности применения таких методов (способов), как оценить воздействие на качество закрытой системы существующих отклонений свойств действительного объекта от свойств принятой номинальной модели? Общего ответа на поставленные вопросы в наше время не имеется, кроме этого даже существуют разнообразные вариации его конкретной постановки. Итак, рассмотрим некоторые теории, благодаря которым можно ответить на изложенные вопросы в их различных трактовках:

Первая теория – теория грубости свойств систем управления, она дает возможность узнать условия, благодаря которым может сохраниться какое – либо необходимое свойство закрытой (замкнутой) системы во время изменения её же математической модели. Вторая теория – теория чувствительности, она применяет утверждение неоднозначности параметров в сопоставлении с их номинальными значениями, а также благодаря такой функции, как чувствительность, дается возможность просмотреть воздействие параметрической неопределенности на траектории системы и показатели качества этих траекторий. Третья теория – теория интервальных систем, она предлагает утверждение свободной неопределенности параметров, которые находятся у прямоугольного параллелепипеда в сфере параметров. Четвертая теория – теория сингулярно «возмущенных» систем, именно с помощью нее можно рассматривать свойства закрытых систем управления с паразитной динамикой.

Обратимся к теории адаптивных и робастных систем. Именно благодаря ним мы можем ответить на еще один важный вопрос: если нельзя использовать методы классической теории, то как возможно управлять неопределёнными объектами. Именно данная теория (адаптивных и робастных систем) исследует способы управления неопределенными объектами, при условии невозможности использования методов классической теории управления неопределенными объектами.

III. ГЛАВНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЁННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Рассмотрим подробнее предложенные основные методы управления неопределёнными объектами. Робастные системы, это такие системы управления неопределенными объектами, которые непосредственно обеспечивают нормальное качество объекта управления при существовании различных неопределённостей (структурных, сигнальных и пр.) Так же по-другому Робастные системы называют грубыми. Дело в том, что во время обычной работы системы значения (коэффициенты) регулятора не подстраиваются, а малая чувствительность, а именно грубость, робастность проявляется с помощью созданной особым образом структуры регулятора. Итак, робастные системы – это системы, не относящиеся к ненастраиваемым системам, а их, так называемая, грубость к некоторым вариациям математической модели объекта достигается в ходе синтеза алгоритма управления. Перейдем к другой системе – Адаптивные системы, по-другому их также называют самонастраиваемыми. Это такой вид системы управления, благодаря которому обеспечивается компенсация различных неопределенностей объекта управления именно с помощью автоматической подстройки регулятора во время работы системы. Адаптивные системы нейтрализуют недостаточность информации об объекте управления, вот почему их еще и называют самонастраиваемыми и самообучающимися.

IV. РОБАСТНЫЕ СИСТЕМЫ, ВИДЫ И ИХ СУЩНОСТЬ

Вернёмся снова к Робастной системе, а именно рассмотрим категорию линейных робастных систем-методов робастного управления. В условиях параметрической неопределённости они применяются в решении задач, к тому же они функционируют с помощью возможностей обобщенного модального управления, а оно в свою очередь придаёт матрице состояние проектируемой системы, желаемые алгебраический спектр значений и геометрический спектр векторов.

Алгоритмы обобщенного модального управления примыкают к группе неадаптивных при параметрической неопределенности матричных компонентов модельного представления объекта. Они (алгоритмы) применяют некий базис матрично-векторного представления объекта управления, где эта параметрическая неопределенность состоит в неопределенности исключительно его матрицы состояния. Непосредственно при параметрической неопределенности у алгоритмов обобщенного модального управления есть возможности, которые осуществляются в

виде двух вариантов: первый – это модально – робастное управление и второе – это управление, благодаря которому созданная система принимает параметрическую инвариантность ее выход в соотношении с параметрическим «внешним» входом.

В первом варианте робастного модального управления, который реализуется в алгоритмической сфере обобщенного модального управления, необходимые показатели процессов в установившемся и переходном режимах передаются проектируемой системе с помощью назначения желаемого спектра собственных значений (мод) номинальной реализации ее матрицы состояния. В условии неопределённости матрицы состояния объекта, стабильность (робастность) данных показателей достигается модальной робастностью через минимизацию числа обусловленности матрицы собственных векторов номинальной реализации матрицы состояния системы и также через контроль нормы матрицы состояния модальной модели, и это дает возможность гарантировать необходимое значение мажорантной оценки областей локализации мод матрицы состояния созданной системы.

Во втором варианте робастного модального управления алгоритмическими возможностями обобщенного модального управления номинальной реализации матрицы состояния системы передается особый спектр собственных векторов. Элементы этого спектра, элементы которого пересекаются с матрицами-столбцами входа главных параметрических внешних воздействий, полученных столбцово-строчной факторизацией матричного компонента матрицы состояния объекта, несущего информацию об ее параметрической неопределенности. Если полученную выше неполную управляемость отношения «параметрический вход – состояние системы» дополнить обеспечением принадлежности матриц-столбцов ядру матрицы выхода, то благодаря этому достигается полная неуправляемость отношения «параметрическое внешнее воздействие – выход системы», по-другому, параметрическая инвариантность выхода проектируемой системы

Перейдём к интервальному робастному управлению. Оно также применяет векторно-матричное описание объектов, у которого интервальность значений первичных физических параметров представляет интервальность исключительно его матрицы состояния, разделяющейся на медианную и интервальную части. Она (матрица состояния) обладает таким св-ом, что все ее угловые реализации обладают одинаковыми нормами. В условиях осуществления интервального робастного управления в алгоритмической сфере обобщенного модального управления необходимое качество процессов в проектируемой системе достигается назначением желаемой структуры мод медианной составляющей матрицы состояния системы с одновременным контролем значения оценки относительной интервальности этой матрицы. Оценка интервальности происходит с помощью измерения нормы медианной составляющей матрицы состояния системы при известной норме интервальной составляющей матрицы состояния объекта, после же происходит оценка относительной интервальности показателей качества, что уже мыслится как оценка робастности с использованием интервальных модельных

представлений параметрической неопределенности. Рассмотрим теперь другой вид робастных систем – нелинейные робастные системы. В нелинейных робастных системах малая чувствительность к различным вариантам математической модели объекта управления сохраняется благодаря дополнительному введению в алгоритм управления специальной статической нелинейной обратной связи. Но и даже для линейных объектов управления, как правило, закон управления оказывается нелинейным. Уже давно было установлено особое свойство статических нелинейных законов управления – улучшать качество замкнутых систем или сохранять минимальную чувствительность к параметрическим/сигнальным возмущениям. Метод нелинейного робастного управления в своей современной трактовке был сформулирован в последней трети прошлого века и также продолжает развиваться в наше время.

V. АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА

Перейдем к Адаптивной системе и ее первому виду – идентификационному. Сущность построения идентификационных адаптивных систем, а по-другому систем с косвенной адаптацией, основана на применении действия идентификации объекта, а именно получении оценок его значений/динамических характеристик. И для расчета коэффициента регулятора используют эти полученные оценки. Итак, идентификационные адаптивные системы имеют в себе алгоритм идентификации, именно он вырабатывает оценки неопределённых параметров объекта управления, блок расчета параметров регулятора и сам настраиваемый регулятор. Ко всему прочему, стремлении оценок параметров объекта к истинным, свойства замкнутой системы становятся приближенными к желаемым. Но идентификационные системы имеют некоторые недостатки.

Первый недостаток состоит в том, что для стратегии, описанной выше, необходимо комплементарное время на непосредственно изучение самого объекта, ив свою очередь это ведет к задержке и выработке правильного управления. Второй недостаток в том, что заметно существенное различие между целями работы регулятора и блока оценки параметров. А именно цель работы регулятора состоит в достижении и сохранении желаемого поведения регулируемой переменной (y), а цель блока идентификации состоит в получении оценок параметров объекта управления. И это непосредственно приводит к негативным последствиям, ведь цепь настройки параметров несомкнутая в основной цели управления. А именно существенная ошибка в управлении регулируемой переменной (y) может совсем не влиять на скорость сходимости по параметрическим оценкам (q) и не ускорять процессы настройки регулятора. Более усовершенствованной и удобной является стратегия, которая состоит в настройке параметров регулятора из условия минимизации ошибки управления. Так, и настраиваемый регулятор, и блок его настройки соединяются единой целью функционирования. Именно на таком принципе строятся безыдентификационные адаптивные системы или же, по-другому, системы с

прямой адаптацией. Цель управления в безыдентификационных адаптивных системах ставится или же отталкиваясь от эталонного значения регулируемой переменной $Y_m(t)$, или же от какого-либо числового критерия качества $Q = Q(y(t))$. У эталонной переменной также есть и другое название – модельная переменная, ведь для выработки эталонного значения регулируемой переменной $Y_m(t)$ обычно применяется эталонная модель – специальный блок. Чаще всего эталонная модель отображается в виде линейной системы, которая в свою очередь способствует образованию желаемого отклика на осуществляющееся воздействие.

Далее регулятор, подверженный настройке параметров, создается так, чтобы в соответствии его коэффиц. параметрам объекта управления закрытая система действовала точно в соответствии с действием эталонной модели. И затем данные о параметрических разбалансах (несогласованиях) в системе будет нести ошибка слежения за эталонной моделью ($\varepsilon = Y - Y_m$). И также при всем этом необходимо положить минимизацию ошибки ($\varepsilon = Y - Y_m$) в качестве цели работы алгоритма адаптации. В итоге, происходит соединение регулятора и алгоритма его адаптации единой целью, заключающейся в максимальном уменьшении ошибки слежения за эталонной моделью. Стоит заметить, что в отличие от предыдущего подхода – идентификационного – здесь отсутствует необходимость осуществления оценки неизвестных параметров объекта и к тому же коэффициенты регулятора настраиваются из условия осуществления основной цели управления. В наше время адаптивные системы с эталонной моделью являются достаточно хорошо разработанным классом адаптивных, которые больше всего распространились на практике и стали широко представлены в научной литературе. Существует и иной подход построения безыдентификационных адаптивных систем, заключающийся в формировании некоторого критерия качества $Q = Q(y(t))$, у которого значение достигает \min /при условии соответствия коэффициент. регулятора параметрам объекта управления. И затем из условия минимизации или максимизации критерия качества возможно вести настройку параметров объекта управления. Именно такие самонастраивающиеся системы, которые лежат в основе данного принципа называются системами экстремального регулирования.

VI. ТЕХНОЛОГИЯ HLA

Ещё одним подходом к построению распределенных систем и управлению объектами в условиях неопределенности служит использование архитектуры распределенного моделирования HLA (High Level Architecture – высокоуровневая архитектура, как уже упоминалось ранее), которая была разработана службой имитационного моделирования DMSO (Defense Modeling and Simulation Office – оборонный отдел имитации и моделирования) МО США. Главными элементами HLA являются реализация инфраструктуры RTI (инфраструктура времени), которая включает серверный

компонент и клиентские части, и библиотека классов JavaBinding, главная цель которой – реализация взаимодействия между распределенными моделями, разработанными на Java. HLA имеет ряд преимуществ перед вышеперечисленными системами: обладает поддержкой механизмов синхронизации времени; обладает открытой спецификацией и может быть применена и в распределенном, и в параллельном моделировании. Примерами использования HLA в России могут служить такие системы как, Мера и AnyLogic. Наряду с преимуществами HLA обладает и недостатками: это довольно сложный стандарт; распределенные системы имитационного моделирования, которые построены на базе HLA, включают определенный предел масштабируемости; для HLA нужно разрабатывать дополнительные средства обеспечения отказоустойчивости процесса распределенного моделирования; использование совершенно разных версий RTI ведет к тому, что данные модели не могут контактировать между собой; разработчики отказываются от использования HLA, так как их пользователи не имеют доступа к программам других производителей. Таким образом, для взаимодействия распределенных частей можно рассматривать различные технологии, уже упомянутые COBRA, RMI, различные библиотеки (PVM и MPI). Но всё это не решает проблем организации распределенных вычислений, а порождает весьма сложную реализацию, настройку, а также эксплуатацию и никак не могут в полной мере обеспечить требуемый набор возможностей для организации распределенного имитационного моделирования.

Управление сложными системами и объектами в условиях неопределенности является важным составляющим в общей проблеме управления и поэтому требует тщательного изучения. В условиях неопределенности привычные, традиционные методы теории управления не могут применяться или дают плохие результаты. И именно в этих случаях необходимо применение специальных методов анализа и синтеза систем управления объектами с неопределенными моделями (робастные, адаптивные и их составляющие), именно благодаря таким специальным методам находится возможность управлять объектами в условиях неопределенности, чего практически невозможно достичь классическими методами управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Айвазян С.А. Байесовский подход в эконометрическом анализе - М.: Синергия, 2008. 332 с.
- [2] Звягин Л.С. Процесс обработки информации при реализации концепции "мягких" измерений// Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2017. Т. 1. С. 104-109.
- [3] Звягин Л.С. Применение системно-аналитических методов в области экспертного прогнозирования// Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 3. № 6. С. 145-148.
- [4] Шапиро Л.Д. Экономико-математическое моделирование. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1987. 247 с.