

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Бумай А.Ю.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
andrei.bumai@bntu.by*

В природе, в окружающем нас мире – повсюду протекают целенаправленные процессы управления. Управление предполагает наличие объекта управления, в качестве которого может быть физическое явление, живой организм, машина в различных областях техники, летательный аппарат, боевая техника, военное подразделение, отрасль народного хозяйства и другие более сложные предметы природы и практической деятельности человека. В процессе управления происходят изменения положения, свойств, качества, других характеристик объекта. Эти изменения направлены на получение наилучших заданных характеристик объекта, его положения, качества и т. д.

Управление – это такая организация того или иного процесса, которая обеспечивает достижение определенных целей или определенного результата. Процесс управления может происходить автоматически, полуавтоматически. Автоматический процесс управления поддерживается и обеспечивается специальными устройствами – автоматом или автоматической системой. Полуавтоматический процесс управления обеспечивается автоматизированной системой с участием человека [1].

Бурное развитие электроники, вычислительной техники, приборостроения в переживаемый период научно-технического прогресса привело к внедрению автоматических систем во все виды человеческой деятельности. Автоматика и автоматизация становятся главным направлением развития всей техники и многих областей деятельности человека. Решающую роль в развитии автоматике сыграло появление современных вычислительных машин и их применение для управления сложными процессами. Роль человека сводится к созданию и организации работы автоматических систем в различных областях техники, народного хозяйства, науки. В настоящее время эта задача решается на основе достижений науки о процессах управления и их общих закономерностях – теории управления. Теория управления включает два раздела: автоматические системы управления и автоматизированные системы управления [1].

Проблема определения (синтеза) структуры и параметров оптимальной автоматической системы является одной из важнейших в современной теории управления. Она состоит в том, чтобы за счет выбора структуры и параметров, системы обеспечить наилучшее протекание процесса в ней или получение наилучшего конечного результата в смысле принятого критерия в заданных условиях.

На практике возникают более сложные задачи определения оптимальных линейных и нелинейных нестационарных непрерывных и дискретных систем. В авиационном вооружении и авиационной технике в целом такими задачами являются автоматическое управление ракетой и наведение ее на подвижную цель, управление подвижной пушечной установкой, радиолокационной или оптико-электронной визирной системой, двигателем, самолетом в различных режимах полета, а также автоматическое управление беспилотным летательным аппаратом.

Несмотря на разнообразие физического существа задач, математическая постановка их одинакова. Наиболее современная состоит в следующем.

Задана математическая модель объекта управления в n -мерном фазовом пространстве состояний в форме дифференциальных

$$\dot{y} = a(y, u, \xi, t); \quad y(t_0) = y_0, \quad (1)$$

или разностных

$$y(k + 1) = a(y, u, \xi, k + 1, k); \quad y(0) = y_0, k = 0, 1 \dots \quad (2)$$

В этих уравнениях ξ – случайное возмущение с заданной статистикой; u – r -мерный вектор управления; ($r \leq n$), $a(\cdot)$ – векторная функция. Управление объектом организуется на основании измерений вектора состояний y или его части с ошибкой (т.е. имеется в виду неполная информация). Вектор измерения в общем виде связан с y нелинейной зависимостью

$$z(t) = c(y, t) + \zeta(t) \quad (3)$$

для непрерывной модели или соотношением

$$z(k) = c(y, k) + \zeta(k) \quad (4)$$

для дискретной модели. Здесь $c(\cdot)$ – векторная функция; $\zeta(\cdot)$ – случайная ошибка измерения.

В ряде детерминированных задач, где $\xi = 0$ и $\zeta = 0$, предполагается что вектор фазовых координат y точно известен.

Вектор управления и в зависимости от дальнейшей постановки задачи отыскивается как функция времени или оценок фазовых координат \hat{y} или самих координат y , если они известны точно. Целью оптимизации является определение управления u , обеспечивающего наилучшее качество управления и конечный результат в соответствии с определенным критерием оптимальности при учете случайных возмущений и ограничений на u . Ограничения на управления и обычно рассматриваются в виде [2]

$$u \in U_0, \quad |u_i| \leq u_{i0}, \quad i = \overline{1, r}. \quad (5)$$

Задачи определения оптимального управления сводятся к отысканию экстремума функции или функционала, зависящих от векторной переменной, т. е. от многих переменных. Такие задачи называются вариационными. Методы решения вариационных задач имеют давнюю историю. Однако к задачам оптимизации управлений в автоматических системах они начали применяться сравнительно недавно. Для решения классических вариационных задач отыскания экстремума функционала разработано вариационное исчисление, включающее метод Эйлера, вариационный принцип Вейерштрасса, метод Гамильтона—Якоби, прямые методы и другие [3].

Однако оптимизационные задачи в теории управления не всегда сводятся к классическим задачам вариационного исчисления, в которых предполагаются непрерывность, дифференцируемость и двухсторонность вариаций всех функций, в том числе и управлений. В практических задачах управления стеснены ограничениями, например, вида (5). Вследствие этого оптимальные управления содержатся в классе кусочно-непрерывных функций. К таким системам методы вариационного исчисления без модернизации не применимы. В пятидесятых годах нашего столетия были разработаны специальные методы. К ним относятся принцип максимума Понтрягина и динамическое программирование Беллмана. Эти методы представляют собой развитие и обобщение двух классических направлений в вариационном исчислении. Принцип максимума развивает метод Эйлера и вариационный принцип Вейерштрасса, связанные с нахождением определенной экстремали процесса. Динамическое программирование развивает на неклассические задачи метод Гамильтона—Якоби, который рассматривает все поле экстремалей [4].

Оба метода эквивалентны, так как исходят из одних и тех же посылок и дают возможность решать сложные задачи оптимизации с учетом ограничений, но практически расчетные алгоритмы различны. Метод принципа максимума в наиболее общем компактном виде решает поставленную проблему, дает возможность определить структуру управления и приводит к необходимости решения двухточечной задачи (с частично заданными начальными и конечными условиями) для вектора состояния и сопряженного вспомогательного вектора.

Метод динамического программирования дает возможность сразу получить решение в форме функции от вектора фазовых координат процесса, но для определения этой функции необходимо решить своеобразное уравнение в частных производных при заданном конечном условии или при численном решении определять и запоминать все поле экстремалей в n -мерном пространстве в каждый момент времени с последующим выделением оптимальной траектории, удовлетворяющей критерию.

При оптимизации стохастических автоматических систем возникают дополнительные трудности, связанные с одновременным статистическим осреднением по статистической выборке при определении оценки функционала. Эта задача точно решается только для линейной системы с аддитивным управлением при квадратическом функционале на основании справедливости стохастической теоремы разделения. Она состоит в том, что для линейной автоматической системы и квадратического критерия оптимальное управление является детерминированным оператором от оценки вектора фазовых координат [1].

Таким образом, оптимизация управления и оценивание фазовых координат производятся независимо. Для нелинейных систем и квадратического критерия эта задача решается только приближенно при применении статистической линеаризации (гауссовское приближение) [1]. Вследствие того, что задача определения оптимального управления в стохастической системе принципиально точно не решается, в инженерной практике применяют ее искусственное разделение на два независимых этапа.

Определяют детерминированный алгоритм управления в функции оценок фазовых координат и независимый алгоритм для получения оценок \hat{u} при заданном управлении.

При оптимизации управлений в автоматической системе целесообразно построить алгоритм управления как функцию фазовых координат или их оценок (в форме обратной связи). Кратчайший путь для этого – применение методов динамического программирования.

Особенно важно отметить, что при решении задачи оптимального управления необходимо руководствоваться критерием оптимальности.

Критерий оптимальности задается исходя из смысла решаемой задачи. В качестве критерия могут быть выбраны различные технические, экономические и другие характеристики, связанные с вектором состояния системы. Критерий оптимальности зависит от координат объекта управления, требуемых их значений, от управления и времени. Критерий оптимальности является функционалом перечисленных величин или функцией, а оптимальное управление и оптимальный процесс должны обеспечить его экстремум. Например, в качестве критерия может быть время управления и его надо минимизировать, дальность полета и ее надо максимизировать, в других задачах критерием может быть конечная ошибка управления и ее надо минимизировать [1]. Например в работе Лобатого А.А., Бумай А.Ю. «Особенности построения алгоритмов оценивания параметров многомерных случайных процессов» в качестве критерий оптимальности приведен критерий максимума апостериорного правдоподобия.

Вывод

Дана общая постановка задачи оптимального управления для беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрены методы определения оптимального управления, которые носят информативный характер на стадии предварительной разработки автоматических систем управления беспилотным летательным аппаратом. Для практической реализации решения данной задачи следует более детально ознакомиться со статьями по темам оптимальное программное управление беспилотным летательным аппаратом.

Список литературы:

1. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Серебрякова. – М.: Физматлит, 2005. – 280 с.
2. Брайсон, А. Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо Ю-ши. – М.: Мир, 1972. – 544 с.
3. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с.
4. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. – М.: Наука, 1975.