

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ  
В УСЛОВИЯХ СЛУЧАЙНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО -  
ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ

Работа систем траекторного управления в реальных условиях осложняется неполной информацией о текущем состоянии объекта управления, когда измерения параметров осуществляются с ошибками и возможны перерывы в поступлении измерительной информации. Задаче синтеза оптимального управления стохастическим объектом при неполной информации посвящено немало работ [1-5]. Основное внимание в них уделяется развитию общего теоретического аппарата применительно к задачам оптимизации управляющих систем, описываемых стохастическими дифференциальными уравнениями. Однако в ряде частных случаев решение задачи существенно упрощается. Примером может служить система управления объектом по результатам угломерных измерений.

В основу алгоритма работы системы положен метод пространства цилиндрических поверхностей положения [6], позволяющий решать широкий спектр навигационных задач, что поможет найти подобным системам разнообразное применение: управление движением летательных и космических аппаратов, беспилотных объектов, контроль состояния газо- и нефтепроводов, автомобильных и железнодорожных магистралей, картографирование местности. К основным достоинствам метода можно отнести возможность управления объектом в условиях, когда управляемый объект и объект слежения находятся в разных по физическим и электродинамическим свойствам средах, нечувствительность алгоритма к пространственной неопределенности положения измерителей и их случайному перемещению в процессе управления.

Целью исследований, которым посвящена эта работа, явля-



лось устранение срывов при движении объектов по программной траектории, обусловленных случайностью структуры системы. Под случайностью структуры можно понимать как пространственное изменение расположения работающих измерителей, так и перерывы в поступлении информации от отдельного измерителя.

В первом случае, который может возникнуть, например, в спутниковой навигации, при смене работающего созвездия ИСЗ возникают скачкообразные изменения измеряемых параметров движения объекта. Метод управления в пространстве цилиндрических поверхностей положения делает систему нечувствительной к таким скачкам. Поэтому случайность структуры фактически сводится к перерывам в поступлении измерительной информации в неизвестные моменты времени. Эти перерывы в реальных условиях могут быть вызваны влиянием среды распространения на информационную структуру сигналов, выходом из строя измерителей, реакциями маневрами и выходом управляемого объекта из зоны действия измерителей.

Решение задач управления объектом в условиях случайной структуры можно разделить на два этапа: оценка текущих координат объекта с учетом случайности структуры системы и выработка управляющего воздействия в соответствии с программной траекторией. В классе задач, допускающих рассмотрение в пространстве цилиндрических поверхностей положения, учет случайности структуры возможен полностью при оценке текущих координат, а управление осуществляется, как и в системе с детерминированной структурой.

Предлагаемый способ оценки параметров движения объекта при двух возможных состояниях структуры ( "есть информация" и "нет информации" ) сводится к отдельной оценке параметров в каждой из структур и формированию общей оценки с учетом априорных данных о возможном состоянии структуры системы.

Математическое обоснование способа получено решением системы уравнений Фоккера-Планка-Колмогорова для каждого возможного состояния структуры. Результатом решения являются итерационные последовательности, характеризующие движение отображающей точки по пространству состояний в каждой из структур, а интенсивности переходов из одной структуры в другую определяются эволюцией вероятностей каждой из возможных структур. Итоговая оценка в соответствии с этим формируется как аддитивная



комбинация оценок в каждой из структур с весами, пропорциональными априорно известным вероятностям конкретных структур.

Получение текущей оценки параметров движения управляемого объекта осуществляется калмановской фильтрацией результатов измерений с использованием уравнения состояния объекта. Если же измерения в текущий момент времени отсутствуют, параметры движения можно спрогнозировать по результатам предыдущих оценок, применяя интерполяционные полиномы Лагранжа. Оптимальным с практической точки зрения является использование трех - пяти предыдущих оценок.

Достоверность получаемых оценок возрастает при использовании избыточной информации, т.е. дополнительных измерителей. Возможны несколько путей формирования оценки текущих координат.

Если измерители сосредоточены в малой области пространства, целесообразно формировать усредненную оценку по максимуму совместной апостериорной плотности вероятности, полученной с учетом показаний каждого измерителя. Дальнейшая обработка информации (фильтрация, выработка управляющего воздействия) осуществляется для усредненных оценок. Такой путь позволяет снизить влияние выбросов при отсутствии информации.

Если же измерители разнесены на значительное расстояние (спутниковая навигация), оценку параметров и выработку управляющего воздействия целесообразно проводить отдельно для каждой пары измерителей, а усреднение осуществлять на уровне управляющего воздействия с учетом меры доверия к каждой паре.

Полученные результаты апробированы на ЭВМ методом цифрового моделирования с использованием данных натуральных экспериментов. Тем самым подтверждена работоспособность синтезированной структуры системы управления для угломерных измерений в пространстве цилиндрических поверхностей положения в условиях действия случайных факторов, приводящих к потере информационного контакта между управляемым объектом и измерителями, и показана возможность использования избыточных измерений, повышающая устойчивость системы при пространственно - временной неопределенности положения измерителей.



## Литература

1. Казаков И. Е. Статистическая теория систем управления в пространстве состояний. - М.: Наука, 1975.
2. Богуславский И. А. Методы навигации и управления по неполной статистической информации. - М.: Машиностроение, 1970.
3. Казаков И. Е., Артемьев В. М. Оптимизация динамических систем случайной структуры. - М.: Наука, 1980.
4. Артемьев В. М. Теория динамических систем со случайными изменениями структуры. - Минск: Высшая школа, 1979.
5. Казаков И. Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой. - М.: Наука, 1977.
6. Барышев И. В. Формирование цилиндрических поверхностей положения //ХАИ, препринт-1, Харьков, 1992.