

Синтез математических моделей управляемого объекта  
по данным радиотехнических или гидроакустических  
измерений.

Постоянное усложнение целевых задач процесса траекторного управления при создании новых образцов авиационной, морской и космической техники приводит к необходимости дальнейшего совершенствования и разработки методов и систем оптимального управления движением объектов с использованием радио- и гидроакустических средств измерений в сложных условиях информационного взаимодействия между объектом и средствами измерений. К числу таких условий можно отнести измерение траекторных параметров управляемого объекта и объекта слежения, движущихся в различных по физическим и электродинамическим свойствам средам, влияние среды распространения на информационную структуру сигналов управления, неопределенность текущих координат и пространственно-временной структуры измерительных средств, технические особенности контролируемых объектов и многие другие условия. Существующие в настоящее время методы и системы оптимального траекторного управления мало приспособлены к перечисленным выше сложным условиям информационного взаимодействия. Это приводит к необходимости поиска новых методов и структур траекторного управления, обеспечивающих высокие точностные характеристики, повышенную надежность и безо-

пасность управления движением объектов при решении задач полигонных испытаний новых образцов техники, навигации летательных аппаратов, морских и речных судов.

Отличительной особенностью решаемой в настоящей работе задачи является то обстоятельство, что управляемый объект (УО) движется в воздушной среде, а объект слежения (ОС) находится под водой. Это приводит к тому, что информационный контакт между объектами осуществляется косвенно через сеть радиогидроакустических буев (РГАБ), которые сбрасываются на водную поверхность авиационными средствами (самолет, вертолет) [1,2]. В силу случайного места приводнения РГАБ и в силу движения морской поверхности координаты буев в общем случае являются неопределенными. Успешное решение поставленной в работе задачи во многом связано со своеобразным выбором класса поверхностей положения, определяющих вектор пространства состояний УО. Проведенные исследования показали принципиальную возможность использования цилиндрических поверхностей положения (ЦП). Осуществление траекторного движения воздушного объекта в пространстве ЦП позволяет решить задачу гипотетического контакта между УО и ОС в точках, лежащих на вертикальной линии, проходящей через местоположение УО в воздухе и ОС в воде.

Формирование ЦП наиболее предпочтительно осуществлять на основе азимутальных измерений ( $\beta$  параметры), измерения расстояний, преобразуемых в разности квадратов расстояний (р-параметры) и измерения разности расстояний, преобразуемых в  $\Lambda$ -параметры.

Ограничения на вид параметров, измеряемых относительно ОС, конкретизируют решаемые вопросы, связанные с разработкой математических моделей динамики УО.

Таким образом, выбор вектора пространства состояний на ос-

нове ЦПП и ограничений на вид измеряемых параметров сопутствует успешному применению фундаментальных основ общей теории управляющих систем, практическая суть которых состоит в описании поведения вектора состояний на основе использования разностных уравнений для дискретного класса систем [3,4]. Проведенные исследования позволили разработать алгоритмы управления в пространстве ЦПП, когда взаимное расположение РГАБ не определяется, а положение линии визирования УО-ОС не контролируется.

Предложенный в работе метод наведения назван методом пропорциональных приращений, который выполняется в двух вариантах: без коррекции на параметры движения ОС и с коррекцией. Последний вариант может существенно снизить терминальную ошибку выхода УО в район расположения ОС.

Наличие помех в радиогидроакустических каналах информационного обмена приводит к искажениям измерений первичных геометрических параметров УО и ОС. В связи с этим возникла необходимость исследования процессов управления как при отсутствии помех, так и при их наличии. В первом случае речь идет о детерминированной модели управления, во втором - о стохастической [5].

В большинстве реальных случаев разностные уравнения, описывающие динамику движения УО, являются нелинейными и в таком виде применение их становится затруднительным. В связи с этим возникла необходимость линеаризации исходных нелинейных уравнений, что особенно важно при исследовании задачи управления в условиях воздействия помех. При этом, в силу конкретных обстоятельств, приходится иметь дело с гауссовско-марковскими последовательностями второго порядка. Для удобства анализа таких последовательностей проведено их преобразование в гауссовско-марковскую последовательность методом расширения вектора состояний.

Анализ и оценка функционирования полученной таким образом стохастической управляемой системы осуществлялись на основе калмановской оптимальной фильтрации. При этом, синтезируя оптимальную систему управления, удобно воспользоваться принципом разделения, хотя этот принцип не обязательно приводит к оптимизации системы в целом. В этом случае система управления функционально разделяется на две части, а именно: оптимальный фильтр и оптимальный регулятор. Полученные таким способом оптимальные управляющие структуры исследовались как в теоретическом, так и практическом аспектах, применяя квадратичный критерий качества с выявлением факторов, вносящих определенный вклад в суммарную погрешность работы системы управления.

Для практического применения важное значение имеет исследование некоторых экстремальных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации синтезированных управляющих структур. К числу таких ситуаций отнесены случаи, когда один или несколько РГАБ, обеспечивающих информационный контакт, либо выходит из строя, либо в силу их ограниченных возможностей по дальности действия перестают обеспечивать этот контакт. К этому же числу ситуаций можно отнести и прерывистую связь, которая может возникнуть по причине технической неисправности аппаратуры связи, а также вследствие нарушения условий передачи и приема информации. Все эти случаи и подобные им приводят к возникновению неопределенности состояния управляющей структуры, к образованию систем со случайной структурой. В этих условиях исследование вопросов оптимального оценивания получаемых последовательностей и синтеза оптимальных функций управления связано с рядом дополнительных особенностей, которые и были рассмотрены в настоящей работе. Большинство полученных результатов апробированы на ЭВМ методом

цифрового моделирования с использованием данных натуральных экспериментов. В связи с чем:

- подтверждена работоспособность синтезированной структуры и математических моделей системы управления для угломерных, дальномерных и разностнодальномерных измерений в пространстве ЦП в условиях действия случайных факторов;

- проведенный анализ точности работы дискретного фильтра позволил получить оптимальный размер матрицы передачи с учетом погрешностей переходных матриц и округлений счета на ЭВМ при вычислении дисперсионных матриц. Доказано, что они могут рассматриваться как ошибки второго порядка, не оказывающие существенного влияния на точность оценки;

- показано, что применение оптимального фильтра в сочетании с оптимальным регулятором снижает ошибку пролета в (2...10) раз, повышает вероятность выхода УО в зону расположения ОС до величины, определяемой размерами эллипса рассеивания. При этом наибольший вклад в сумму критерия качества вносят факторы для  $\beta$ -параметров - ошибка фильтрации, для  $P$ -параметров - ошибка начального состояния и ошибка возмущения;

- для систем со случайной структурой показана работоспособность полученного алгоритма управления при информации без ошибок о векторе состояний и моментах изменения структуры. При этом ошибка пролета практически не зависит от изменения структуры системы;

- получены экспериментальные данные и проанализированы результаты экспериментов по решению задач сглаживания в закрепленной точке, оценке неизмеряемых параметров и применению разработанных управляющих структур для расширения состава потребителей, подтвердившие их высокую работоспособность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абчук В. А., Суздаль В. Г. Поиск объектов. М.: Сов. радио, 1977. - 334 с.
2. Простаков А. Л. Гидроакустические средства флота. М.: Воен. изд., МО СССР, 1974. - 123 с.
3. Казаков И. Е. Статистическая теория систем управления в пространстве состояний. - М.: Наука, 1975. - 432 с.
4. Аоки М. Оптимизация стохастических систем. - М.: Наука, 1971. - 424 с.
5. Барышев И. В., Шульгин В. И. Анализ точности пассивных систем траекторных измерений /Ин-т кибернетики АН УССР, препринт 77-72., Киев, 1977.