

---

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫРАБОТКИ КОМАНД САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВС

А.В. Людомир, В.С. Орлов (Москва)

### Введение

Рассматривается задача, связанная с имитационным моделированием полета одного или нескольких самолетов в составе модели динамической воздушной обстановки (МДВО). МДВО представляет собой описание во временной области процессов управляемого полета множества самолетов в структурированном воздушном пространстве. Эта модель применяется в ряде программных средств, когда требуется имитация воздушного движения. МДВО используется в составе комплексного исследовательского стенда управления воздушным движением (КИС УВД), имитационной математической модели оценки безопасности полетов (ИММ ОБП), на базе модели проводилась разработка и анализ алгоритмов обнаружения и предотвращения опасных сближений в воздухе.

В зависимости от целей моделирования, в модели ВС имитируются модель ошибок навигации, модели связи и наблюдения, модель взаимодействия с диспетчером УВД. В докладе представлена структура модели ВС и описаны особенности построения модели, позволяющие динамически менять методы управления ВС.

### Структура модели воздушного судна

Целью самолетовождения является выполнение каждым воздушным судном (ВС) из выбранного по сценарию потока предписанного суточного плана полета. Совокупность суточных планов определяет структуру и динамику воздушных потоков.

При моделировании движения ВС может потребоваться использование различных методов формирования команд самолетовождения:

- упрощенные уравнения выдерживания плановой траектории,
- полет с выдерживанием правил выполнения полетов,
- реакции на команды, получаемые от модели диспетчера УВД,
- разрешение опасных сближений в автоматическом режиме,
- различные комбинации представленных методов.

С учетом накопленного опыта моделирования, в том числе моделирования не только плановых, но и возмущенных траекторий в настоящее время в составе МДВО реализуется универсальная модель ВС, структура которой представлена на рис.1. Модель состоит из двух основных подсистем: собственно динамической модели ЛА (уравнения движения и расхода плюс имитатор системы стабилизации) и модели бортовой системы самолетовождения ВС, включающей алгоритмы выработки команд управления системой стабилизации. В качестве команд для системы стабилизации рассматриваются заданные значения угла курса  $\psi^*$  (направления полета), высоты  $H^*$  и продольной воздушной скорости  $V^*$ .

*Модель ЛА* рассчитывает текущие траекторные параметры (долгота  $L$  и широта  $B$ , высота  $H$ , путевая  $V$  и вертикальная  $V_H$  скорости, путевой угол  $\psi$ ), а также весовые (текущий вес ВС  $W$ , расход топлива  $W_T$ ) и другие характеристики эффективности выполнения полета. Модель движения (кинематики движения ВС), основанная на кинематических уравнениях движения ВС, является наиболее стабильной. В основном изменения могут касаться включения (или не включения) в состав модели расходных уравнений, а также уровня точности моделирования расходных уравнений.

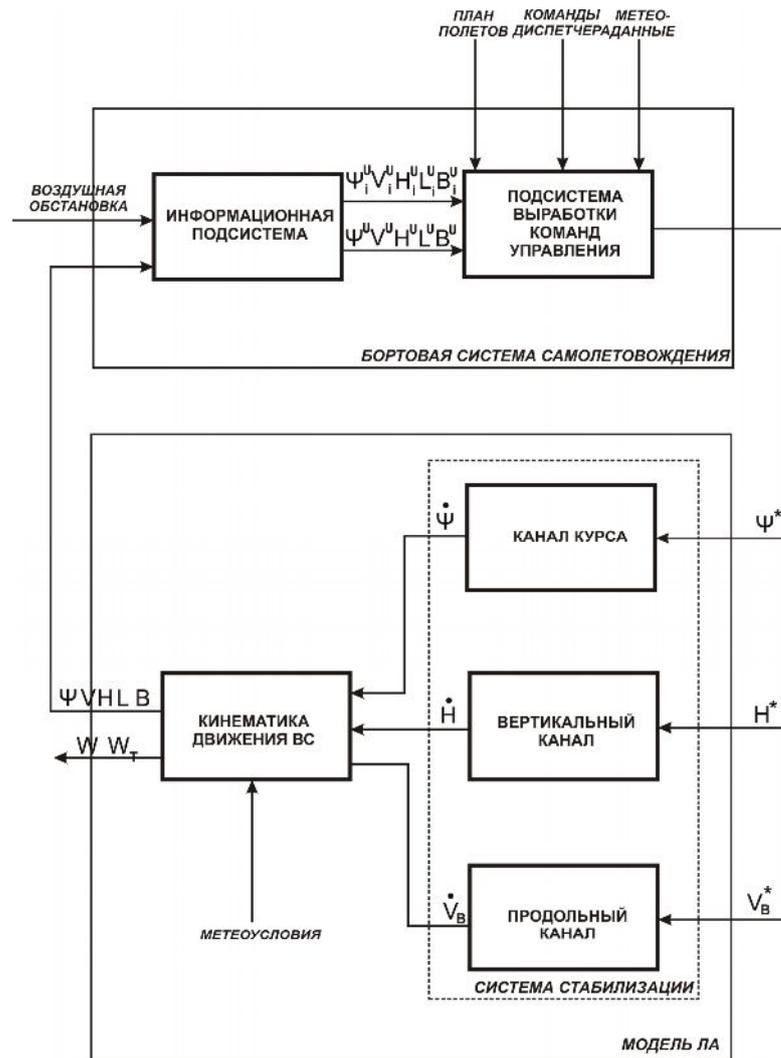


Рис. 1. Структура модели управляемого полета

Возможны различные уровни подробности описания системы стабилизации. В модели реализовано несколько вариантов, однако для большинства задач, для которых предполагается использовать МДВО, с точки зрения достаточности детализации процессов и сравнительно небольшой вычислительной загрузки, наиболее целесообразен следующий вариант.

Система стабилизации описывает динамику процессов стабилизации и изменения сил и моментов, действующих на ВС. Здесь, в свою очередь, возможны различные степени подробности, связанные с описанием динамики процессов стабилизации в виде динамического эквивалента. Для большого круга исследовательских задач допустимо ограничиться простейшей моделью динамики в форме аperiodического звена с заданной добротностью (для каждого канала отдельно), приближенно описывающей запаздывание в отработке команд управления.

Модель бортовой системы самолетовождения условно декомпозирована на информационную подсистему и подсистему выработки команд управления. Первая подсистема имитирует получение и обработку траекторной информации о собственном движении с формированием оценок  $L^u, B^u, V^u, H^u, \psi^u$  и, возможно, информации о движении в некоторой окрестности других ВС (оценки  $(L_i)^u, (B_i)^u, (V_i)^u, (H_i)^u, (\psi_i)^u$ ). Условное выделе-

ние этой подсистемы связано с тем, что она является менее изменяемой в случае анализа и сравнения различных методов управления.

На входе подсистемы выработки команд управления – оценки параметров собственного движения, а также движения других ВС. На выходе – команды управления системой стабилизации: угол курса  $\psi^*$ , высота  $H^*$ , воздушная скорость  $V^*$ . При выработке этих команд используются данные о плане собственного полета, доступные на борту метеоданные, команды и рекомендации наземного сегмента управления.

### Особенности программной реализации

Архитектура модели построена таким образом, что методы выработки команд управления при одних и тех же входных и выходных параметрах могут различаться. Модель реализована в объектно-ориентированной среде программирования Delphi, что позволяет использовать различные реализации методов для объекта управления.

В модели создан класс ВС, для которого описан ряд свойств и методов, позволяющих настроить каждый экземпляр класса под конкретные методы работы информационных и управляющих систем. С точки зрения выработки команд управления, определен абстрактный класс подсистемы управления, для которого описан ряд наследников, реализующих различные методы управления.

Класс ВС (TAircraft) помимо параметров самолета и его маршрута содержит поля выбора модели движения (Motion) и поле подсистемы выработки команд управления (Control). Иллюстрация структуры класса ВС представлена на рис. 2. Выбор модели движения и метода управления ВС осуществляется пользователем. Причем при выборе менее точной интерполяционной модели движения некоторые методы управления недоступны.

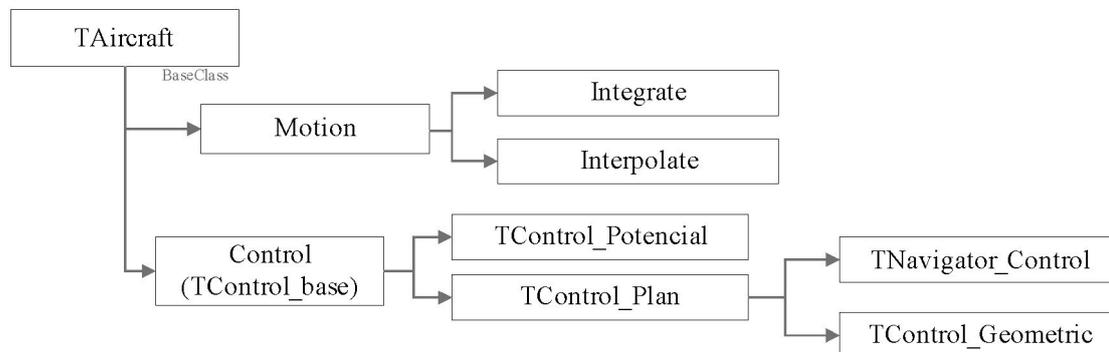


Рис. 2. Параметры управления класса ВС

При интерполяции плановых данных (Interpolate) текущее положение ВС рассчитывается исходя из записанного в плане времени пролета точек маршрута. Такая модель движения применяется для грубых оценок, при моделировании полетов большого количества ВС на длительных промежутках времени.

При интегрировании уравнений движения (Integrate) реализованы следующие методы управления.

#### 1. Упрощенное движение по плану

Полет ВС проходит в режиме стабилизации относительно плановой траектории полета, описанной в плане полета. Работа данного метода реализована в классе Control\_Plan. Класс Control\_Plan имеет два класса-наследника: NavigatorControl и GeomControl.

2. Движение по плану с детальным описанием плановой траектории и обработкой оказаний диспетчера

---

Полет осуществляется в соответствии с путевой таблицей, в которой детально описаны маневры разворота при смене курсового угла, участки горизонтального пролета пунктов обязательного донесения, участки набора высот и снижения в соответствии с ЛТХ ВС. При этом осуществляется взаимодействие с моделью диспетчера:

- отправляются сообщения о пролетах пунктов обязательного донесения, о пролетах рубежей входа или выхода из сектора,
- отрабатываются указания диспетчера на изменение плановых характеристик полета.

Данный метод реализован в классе NavigatorControl.

3. Управление с разрешением конфликтных ситуаций по геометрическому методу  
Метод GeomControl является наследником Control\_Plan. При отсутствии прогноза об опасном сближении осуществляется движение с выдерживанием плановой траектории. При прогнозе конфликта вырабатывается команда уклонения от плана по геометрическому методу.

4. Управление с разрешением конфликтных ситуаций по методу потенциальных полей

Команды управления ВС формируются в соответствии с методом потенциальных полей (Control\_Potential). Метод обеспечивает бесконфликтный полет ВС при множественных конфликтах с выдерживанием близкой к плановой траектории.

### **Выводы**

Таким образом, построена универсальная модель движения воздушного судна, позволяющая гибко настраивать как степени детальности описания системы стабилизации и моделирования движения ВС, так и различные методы выработки команд самолетовождения, обеспечивающая имитацию выбранного варианта.