

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ РЕЧНОГО СУДНА И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ SIMULINK

Кривошеев С.В.
Кафедра ЭВМ ДонГТУ
kryvosh@cs.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Kryvosheyev S. Model of inland ship dynamics and its simulation in Simulink. This paper presents structure of inland ship mathematical model. The problems of the ship motion simulation are described. The approaches to calculate characteristics of ship body are formulated.

Введение

Исследования в области разработки опытных образцов современных интегрированных навигационных систем ведутся сегодня в целом ряде университетов США, Канады и Западной Европы, а также в исследовательских центрах ведущих мировых компаний [1,2]. Такие системы классифицируются как интегрированные навигационные системы потому, что предполагают объединение (интегрирование) информации от бортовых датчиков и априорных знаний с целью наиболее рационального управления объектом. Одним из важнейших элементов такого рода систем является модель объекта управления. Построению такой модели для навигационной системы речного судна и посвящена данная статья.

1. Структура модели транспортного средства

Структура процесса интегрированной обработки информации на основе математической модели приведена на рис. 1. Она состоит из следующих основных блоков: непосредственно объекта управления, его модели и блока коррекции (фильтра). Блок «Объект управления» включает в себя непосредственно транспортное средство и текущую навигационную обстановку (ее оцифрованное представление). Задача блока «Модель объекта» - воспроизводство реальной окружающей среды и состояния объекта в компьютере посредством доступного априорного знания.

Входными параметрами являются управляющие воздействия для подсистем объекта управления (двигатель, рулевой привод и др.). Выходные параметры – это параметры движения транспортного объекта: скорость (линейная и угловая), направление. Внешние воздействия – процессы, происходящие во внешней среде и влияющие на движение объекта: ветер, течение воды, температура.

Любая автономная система управления транспортным средством решает две основные задачи: навигация и управление движением. Навигация представляет собой процесс определения местоположения транспортного средства. Управление движением – это процесс модификации траектории транспортного средства для достижения необходимой точки маршрута.



Рис. 1 – Поток информации с использованием модели объекта

Рассмотрим процесс управления движением транспортного средства на примере интегрированной навигационной системы для судов внутреннего и смешанного плавания [3, 4, 5]. Процесс управления движением включает в себя несколько задач, основными из которых являются: оценка навигационной обстановки, планирование траектории движения и формирование управляющих воздействий для перемещения по заданной траектории. Одной из подзадач оценки навигационной обстановки является автоматическое планирование маршрута. Она включает в себя, в том числе, и генерацию траекторий движения судна. Данный процесс осуществляется в блоке «Модель объекта» на основе математической модели судна и входных ограничений.

Структурно, модель судна можно разделить на следующие блоки [4]: блок управления рулевыми приводами, блок управления силовой установкой, блок стохастических воздействий, блок математического описания динамики движения и блок формирования управляющих воздействий. Далее будет рассмотрена реализация модели динамики движения судна на основе блочно-ориентированного подхода.

2. Математическое описание движения судна

С точки зрения кинематики судно можно рассматривать как твердое тело с шестью степенями свободы. Уравнения движения судна составляются на основании законов кинематики и динамики твердого тела, а также теории силового воздействия жидкости на движущееся тело.

Для изучения движения судна по свободной поверхности применяют следующие основные системы координат:

- Неподвижную (или абсолютную) систему координат $O_{rh}n$. Плоскость O_{rh} совпадает с невозмущенной поверхностью воды, ось O_n вертикальна и направлена вверх.
- Связанную с судном (подвижную) систему координат $O_{xy}z$. Начало координат может совпадать с центром тяжести судна, либо располагаться в точке пересечения диаметральной плоскости (ДП) с основной плоскостью (ОП) и плоскостью мидель-шпангоута (ПМ) (рис. 2). Плоскость O_{xy} параллельна ОП судна, ось O_x размещается в его ДП и направлена в нос, ось O_y – на правый борт, а ось O_z – вертикально вверх.

Если судно в начальный момент движения находится в равновесии, то системы координат $O\eta\eta$ и $Oxyz$ совпадают.

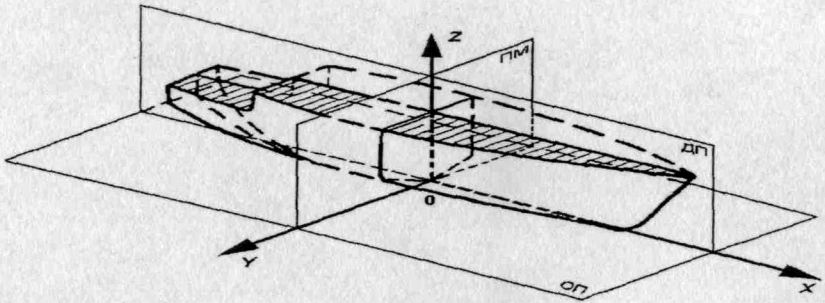


Рис. 2 – Главные плоскости судна

Система уравнений [6], которая описывает движение судна в трех плоскостях, записывается в следующей форме:

$$A \frac{d}{dt} S + BSS = E \tag{1}$$

где A и B – матрицы коэффициентов (размер 6×6),

$$S = [v_x \ v_y \ v_z \ \omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T \tag{2}$$

– вектор проекций переменных состояния судна, v_x, v_y, v_z – проекции вектора скорости судна, $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – проекции вектора угловой скорости движения судна,

$$E = [N_x \ N_y \ N_z \ M_x \ M_y \ M_z]^T \tag{3}$$

– вектор проекций сил и моментов, N_x, N_y, N_z – проекции вектора внешних сил, M_x, M_y, M_z – проекции вектора главного момента.

Для изучения маневренных качеств судна, а также прогнозирования траектории движения судна, рассматриваются только горизонтальное движение. При рассмотрении движения в горизонтальной плоскости принимают следующие допущения:

$$\begin{aligned} N_z &= M_z = M_y = 0; \\ v_z &= \omega_x = \omega_y = 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Тогда система уравнений принимает следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} (m + \lambda_{11}) \frac{dv_x}{dt} - (m + \lambda_{22}) v_y w_z - \lambda_{26} w_z^2 &= N_x; \\ (m + \lambda_{22}) \frac{dv_y}{dt} + (m + \lambda_{11}) v_x w_z + \lambda_{26} \frac{dw_z}{dt} &= N_y; \\ (J_z + \lambda_{66}) \frac{dw_z}{dt} + \lambda_{26} \frac{dv_y}{dt} - (\lambda_{22} - \lambda_{11}) v_x v_y + \lambda_{26} v_x w_z &= M_z. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где λ_{ij} – обобщенные присоединенные массы корпуса судна, m – масса судна, J_z – присоединенный момент инерции массы судна.

Гидродинамические силы и моменты, определяющиеся инерционными свойствами жидкости, выражаются через обобщенные присоединенные массы корпуса судна, которые, в свою очередь, выражают через коэффициенты:

$$k_{11} = \frac{\lambda_{11}}{m}; k_{22} = \frac{\lambda_{22}}{m}; k_{26} = \frac{\lambda_{26}}{mL}; k_{66} = \frac{\lambda_{66}}{J_z}. \quad (6)$$

В соответствии с законами гидромеханического подобия силы, действующие на судно, а также моменты, могут быть представлены через соответствующие им безразмерные коэффициенты K_F и K_M :

$$F = K_F \frac{\rho}{2} \Omega v^2, \quad (7)$$

$$M = K_M \frac{\rho}{2} \Omega L v^2, \quad (8)$$

где F – сила, действующая на тело; M – момент силового воздействия на объект; ρ – плотность среды, в котором движется тело; Ω – площадь, погруженного в среду, тела; L – длина тела.

Основными переменными состояниями судна являются вектор скорости, вектор угловой скорости и угол дрейфа β . Углом дрейфа β называется угол между диаметральной плоскости судна и вектором скорости. Он определяется по следующей формуле:

$$\beta = -\arctg \frac{v_y}{v_x}. \quad (9)$$

3. Реализация модели динамики движения судна

Для моделирования динамики движения судна была использована интерактивная среда для имитации динамических систем MATLAB/SIMULINK. Данный выбор был обусловлен тем, что SIMULINK позволяет создавать иерархические структуры моделей с неограниченной вложенностью и собственные библиотеки блоков. Этот пакет обеспечивает также непосредственный доступ к математическим, графическим и программным средствам MATLAB.

По системе уравнений (5) была составлена блок-схема модели в среде SIMULINK (рис. 3). Данная схема отражает основные элементы структуры математической модели судна.

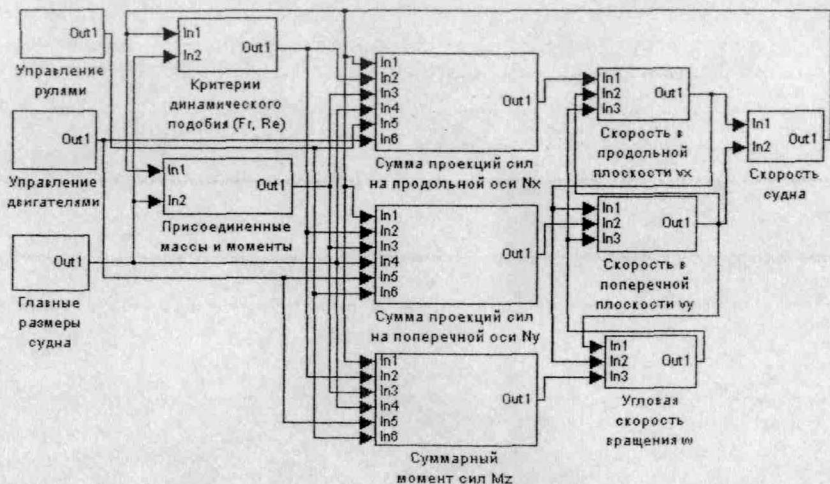


Рис. 3 – Укрупненная модель динамики движения судна

В связи с тем, что коэффициенты в системе дифференциальных уравнений в общем случае являются нелинейными, то для упрощения составления математических моделей были разработаны собственные библиотеки расчета этих коэффициентов. Пример реализации одного из элементов библиотеки, предназначенного для вычисления коэффициента формы по эмпирической формуле, представлен на рис. 4.

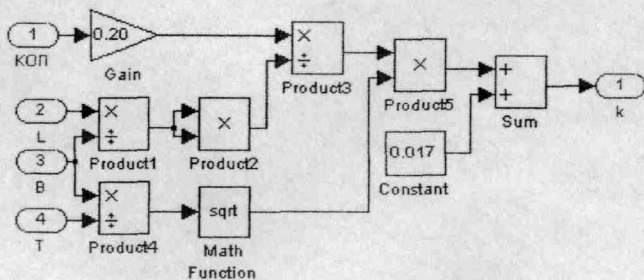


Рис. 4 – Схема для расчета коэффициента формы

Сложность расчета коэффициентов по эмпирическим формулам для системы уравнений (5) заключается в том, что требуется постоянный контроль входных параметров: в зависимости от того, в каком интервале располагаются значения переменных, необходимых для вычисления коэффициента, должно выбираться то или иное расчетное выражение. Необходимо также учитывать размеры судна (длину, ширину и осадку), а также следить за глубиной фарватера. Исследование различных режимов движения судна проводилось в зависимости от угла перекладки руля и скорости вращения винтов.

Заклучение

Реализация математических моделей в среде SIMULINK позволяет провести всестороннее исследование динамики движения судна, допуская при этом динамическую модификацию и отслеживание большого количества переменных. Рассмотренную математическую модель и ее реализацию предполагается использовать в качестве элемента среды моделирования интегрированных навигационных систем для судов внутреннего и смешанного плавания, разрабатываемой в рамках договора о научном сотрудничестве с Институтом системной динамики и управления (ISR) Штуттгартского университета (Германия).

Литература

1. Bertozzi M., Broggi A. Vision-based vehicle guidance. //Computer, 30 (1997), №7, p. 49-55.
2. Sandler M., Wahl A., Zimmermann R., Faul M., Kabatek U. and Gilles E.D. Autonomous guidance of ships on waterways. Robotics and Autonomous Systems 18 (1996), p.327-335.
3. Аноприенко А.Я., Кривошеев С.В., Потапенко В.А. Моделирование процесса обработки информации в интегрированной навигационной системе //Тези доповідей міждержавної науково-методичної конференції "Комп'ютерне моделювання". – Дніпродзержинськ. – 1999. – с.114-115.
4. Кривошеев С.В., Потапенко В.А. Подходы к моделированию работы интегрированных навигационных систем для судов внутреннего и смешанного плавания //Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка, вип. 6. – Донецьк: ДонДТУ. – 1999. С.115-120.
5. Святный В.А., Аноприенко А.Я., Кривошеев С.В., Потапенко В.А. Имитация радиолокационной информации в интегрированной навигационной системе //Сборник трудов VI международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века». – Том 3. – Донецк. – 1999. – с.12-15.
6. Васильев А.В. Управляемость судов. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.