

Водолазский Д.С., Ильчик Д.В.
Науч. руководитель Струнилин В.Н.
Донецкий национальный технический университет
Математическая модель движения судна

Предложенная модель криволинейного движения судна позволяет иметь стабильный радиус траектории корабля. Она учитывает геометрические характеристики судна, боковую и прямолинейную тяги, характеристики винта и руля, сопротивление воде. Метод основан на эмпирических формулах, которые получены в экспериментальных бассейнах с использованием модели судна. Описаны условия применения этого метода и пример его реализации.

Введение. Использование математических моделей в контуре управления предоставляет возможность исследования и анализа различных состояний объекта, прогнозирования его поведения в зависимости от управляющих воздействий и внешних факторов, действующих на управляемый объект [1].

1. Основная идея предлагаемого метода. Предложенная модель криволинейного движения судна позволяет иметь стабильный радиус траектории корабля. Модель описывается уравнениями (1)–(3).

$$\begin{aligned}
 m(1 + k_{11}) \frac{dV_x}{dt} - mV_y w &= -X_r - \sum_{i=1}^{Z_p} T_{Ei} \\
 m(1 + k_{22}) \frac{dV_y}{dt} + mV_x w &= Y_r + \sum_{i=1}^{Z_p} Y_{Ri} \\
 J_z m(1 + k_{66}) \frac{dw}{dt} &= M_r + l_R \sum_{i=1}^{Z_p} Y_{Ri}, \quad (3)
 \end{aligned}$$

где: V_x, V_y – скорости по осям X и Y;
 w – угловая скорость, m – масса судна;
 X_r, Y_r, M_r – гидродинамические корпусные усилия;
 l_R – расстояние между центром судна и двигателя;

T_{Ei} - тяга двигателя по оси X;

Y_{Ri} - тяга двигателя по оси Y;

Z_p - количество двигателей;

J_z - момент инерции; k_{22} , k_{66} - коэффициенты k_{11} присоединённых масс

на глубокой воде.

Формулы (1)–(3) позволяют определить изменение скорости корабля во времени.

Переменные, используемые в уравнениях (1)–(3), определяются из формул [2], описывающих геометрические характеристики корабля, боковую и прямолинейную тяги, характеристики винта и руля, сопротивление воды.

Гидродинамические корпусные усилия определяются по следующим формулам [2]:

$$X_r = C_{xr} LTV^2 p/2,$$

$$Y_r = C_{yr} LTV^2 p/2,$$

$$M_r = C_{mr} LTV^2 p/2,$$

где C_{xr} , C_{yr} , C_{mr} – соответствующие коэффициенты, которые зависят от сопротивления воды, геометрических характеристик судна и угла дрейфа в центре тяжести;

L - длина судна;

T - осадка судна;

p - плотность воды;

V - скорость судна.

Момент инерции определяется следующим образом:

$$J_z = (mL^2/12.4)(0.463 + 0.574\delta^{0.31} + B/L^2),$$

где B - ширина судна;

δ – коэффициент общей полноты.

Таким образом, для реализации модели криволинейного движения судна были использованы уравнений (1)-(3).

2. Пример применения предложенного метода. Пусть корабль имеет следующие характеристики:

$T = 4\text{ м}$ (осадка); $L = 80\text{ м}$ (длина); $B = 15\text{ м}$ (ширина);
 $l_R = 35$ (расстояние между центром судна и движителем);
 $\delta_R = 0.349f$ (угол перекладки руля 20°); $\delta = 0,7$

(коэффициент общей полноты); $V_x = 5\text{ м / с}$, $V_y = 0\text{ м / с}$ и $w = 0$ (начальные скорости движения корабля). Это пассажирское судно имеет два винта.

Модель криволинейного движения судна написана на языке программирования С. Расчет осуществляется с помощью интегрирования Рунге-Кутта 4-го порядка точности.

Модель судна была протестирована в различных режимах: как однопоточная функция, в четырехпоточном режиме и с использованием технологии NVIDIA CUDA. Для каждого варианта построены графики зависимости производительности от числа потоков.

Полученные результаты представлены на рисунке 1.

Исследования были проведены на процессоре Intel i5-2430M процессором 2,40 ГГц (поддерживает 4 потока) и графическом процессоре NVIDIA GeForce GT 555M 144 ядер CUDA (144 потока).

Исследования показали, что для большого количества потоков преимуществом обладает технология NVIDIA CUDA.

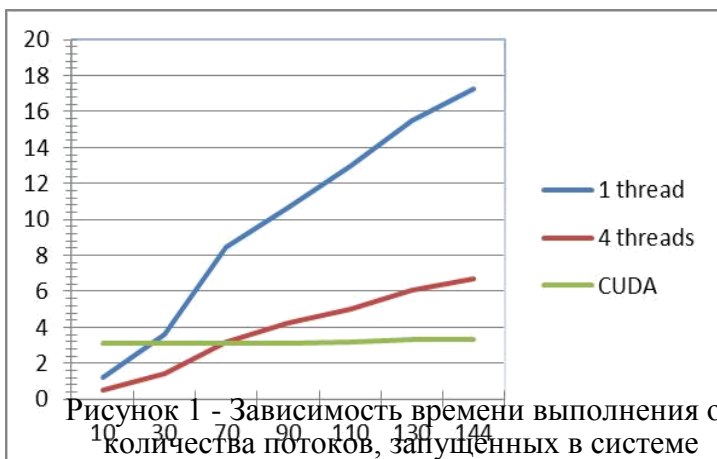


Рисунок 1 - Зависимость времени выполнения от количества потоков, запущенных в системе

Заключение. Исследования показали достоверность предложенной математической модели криволинейного движения судна. Различные методы реализации модели имеют разное время обработки данных. Результаты исследований позволяют выбрать наиболее эффективный вариант обработки данных. Эта работа показывает преимущества использования технологии NVIDIA CUDA для большого количества потоков.

Литература.

1. Ivar-André Flakstad Ihle / Guidance and Control / Norwegian University of Science and Technology (NTNU) NO-7491 Trondheim, Norway . – 2006.
2. Thor I. Fossen Marine Control Systems / Norwegian University of Science and Technology / Trondheim, Norway. – 2002.
3. NVIDIA CUDA C Programming Guide / Version 4.0 / 6.5.211. [Electronic Source] . – Access Mode: //www.nvidia.com