Секция «Математическое моделирование и информационные технологии»

О дискретной модели курсового автопилота морского судна

Научный руководитель – Цыганова Юлия Владимировна

Лаптев Кирилл Николаевич
Аспирант
Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия
E-mail: dinx0@yandex.ru

Рассмотрим математическую модель для системы проектирования курсового автопилота морского судна [1]. В данной модели волновое движение первого порядка рассматривается как выходное возмущение.

Основными компонентами датчика для морского судна с управляемым курсом являются магнитные и/или гироскопические компасы, измеряющие ψ (отклик, обусловленный управляющим действием и низкочастотным возмущением) и измерение гироскопа угловой скорости r. Измеренный угол рыскания y можно разложить на составляющие $y = \psi + \psi_w + v$, где ψ_w – волновое движение первого порядка, а v – гауссовский белый шум, произведенный компасом.

Чтобы оценить ψ и r по y и одновременно получить волновую фильтрацию, можно использовать модель волновой фильтрации для прогнозирования волновых движений ψ_w. Основным инструментом для этого является линейный инвариантный по времени фильтр Калмана, основанный на уравнениях модели

$$\dot{\xi}_w = \psi_w, \quad \dot{\psi}_w = -\omega_0^2 \xi_w - 2\lambda\omega_0\psi_w + w_1,$$

где λ и ω_0 – относительный коэффициент демпфирования и пиковая частота фильтра, используемого для представления вызванного волной рыскания. Динамика рыскания морского судна задается моделью Номото [1]

$$\dot{\psi} = r, \quad \dot{r} = -\frac{1}{T}r + \frac{1}{m}(\tau_{wind} + \tau_N) + b + w_2, \quad \dot{b} = w_3,$$

где b – отклонение, а w_1, w_2, w_3 – процессы гауссовского белого шума. Постоянная $m = I_z - N_{\dot{r}}$ вводится для удобства таким образом, что угол поворота руля δ генерирует момент рыскания τ_{wind}

$$\tau_N = m\frac{K}{T}\delta = N_\delta \delta,$$

в то время как τ_{wind} представляет собой необязательную переменную передачи ветра. Стоит обратить внимание, что ни скорость рыскания r, ни состояния волны ξ_w и ψ_w не измеряются. Полученная модель пространства состояний имеет вид

$$\dot{x} = Ax + bu + Ew, \quad y = h^\top x + v, \tag{1}$$

где $x = [\xi_w, \psi_w, \psi, r, b]^\top$, $u = \tau_{wind} + \tau_N$, $\omega = [w_1, w_2, w_3]^\top$ и

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \omega_0^2 & -2\lambda\omega_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/T & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/m \\ 0 \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$h^\top = \begin{bmatrix} 0, & 1, & 1, & 0, & 0 \end{bmatrix}.$$

Для модели системы курсового автопилота, фильтр Калмана может быть как дискретным, так и непрерывным во времени. Для реализации дискретного фильтра Калмана необходимо определить параметры соответствующей дискретной модели

$$x_k = \Phi x_{k-1} + B_d u_{k-1} + G_d w_k, \quad y_k = h^\top x_k + v_k; \; k = 1, 2, \ldots \tag{2}$$

Для вычисления параметров дискретной модели воспользуемся [2]. В данной работе для обеспечения корректности и надежности результатов вычислений был написан скрипт на языке Maple, который позволяет вычислить матрицы-параметры дискретной модели (2) по непрерывной модели (1). Построенная таким образом дискретная модель будет использована для построения адаптивного дискретного фильтра Калмана для идентификации параметров неопределенности модели T, m, ω_0 and λ.

Источники и литература

1) Fossen T. I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control, First Edition, John Wiley & Sons Ltd., 2011.
2) Семушин И. В., Цыганова Ю. В. Стохастические модели, оценки и управление. Раздел : Детерминистские модели динамических систем: метод. пособие. Ульяновск: УлГУ, 2007.