

УДК 656.61.052

Робота присвячена оптимізації управління судном при заметі кошількового невода, а метою є підвищення продуктивності рибальського судна шляхом зниження числа невдалих заметів кошількового невода

Ключові слова: оптимізація, управління судном, кошільковий невід, планування траєкторії, цілеспрямованість вибору, алгоритми, система, підвищення ефективності

Работа посвящена оптимизации управления судном при замете кошелькового невода, а целью является повышение производительности рыболовного судна путем снижения числа неудачных заметов кошелькового невода

Ключевые слова: оптимизация, управление судном, кошельковый невод, планирование траектории, целенаправленность выбора, алгоритмы, система, повышение эффективности

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫСЛОВЫМ СУДНОМ КОШЕЛЬКОВОГО ЛОВА

Н. В. Ивановский

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра «Судовождения»

Керченский государственный морской
технологический университет

ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, АР Крым, Украина,
98309

Введение

Одним из основных этапов лова рыбы кошельковым неводом является замет невода. Данный этап имеет две стадии: 1 - подготовка к замету; 2 - непосредственно сам замет. На первой стадии производится расчет траектории движения судна с учетом характеристик движения объекта лова, скорости погружения кошелькового невода, а также внешних факторов, таких как течение, ветер, рельеф дна. На второй стадии необходимо выполнить заданную траекторию. Вся сложность второй стадии заключается в том, что судно должно вернуться в начальную точку, при этом длина пройденного пути должна равняться длине невода с погрешностью равной длине судна. В противном случае, выметав весь невод и не замкнув обметанную область, получаются «ворота», через которые может выйти объект лова.

Постановка проблемы

На этапе замета система «Судно - кошельковый невод - объект лова» является стохастической, так как учесть все факторы, влияющие на динамику данной системы, невозможно. К примеру, одной из характеристик поворотливости судна на криволинейной траектории является момент инерции I_z относительно вертикальной оси вращения. Как известно, чтобы его определить, необходимо знать распределение весовой нагрузки судна. Выметывание кошелькового невода с кормы судна, наличие улова в трюмах существенно меняют распределение весовой нагрузки промыслового судна. В свою очередь, судно движется в нечеткой среде, характеристики которой также нельзя детерминировать. Также хочется отметить, что длина тра-

ектории в среднем составляет 600 м и зачастую замет происходит при неблагоприятных метеорологических условиях, т.е. требуется достаточно точное управление судном. Это может сделать только та система, которая на момент проведения данного замета сможет точно осуществлять прогноз положения судна на полученное им управление. На данный момент времени все зависит от опыта капитана промыслового судна, так как существующие системы управления не учитывают всех факторов, влияющих на движение судна в процессе замета кошелькового невода.

Теория современного управления (адаптивного и оптимального), и теория классического управления в значительной степени базировались на идее линеаризации систем. Для их практического применения требовалась разработка математических моделей. В действительности же если и удастся построить модель, точно отражающую связь между выходом и входом системы, то она часто оказывается непригодной для целей управления. Практически приемлемыми могут быть только модели с низкой чувствительностью по параметрам, что сложно обеспечить для нелинейных систем.

Наиболее широкое применение получили статистические модели управления (модель авторегрессии) и адаптивное управление. Достоинство статистических моделей - в их простоте и возможности проверки на адекватность путем исследования частотных характеристик с использованием спектрального анализа. При помощи такого метода можно исследовать поведение конструкции в определенном диапазоне частот путем анализа частотных характеристик методами классической теории управления. К недостаткам относятся: недостаточная точность и отсутствие у используемых переменных и параметров физического смысла.

Адаптивное управление основывается на математических моделях, описывающих физические процессы и явления. Воздействие на управляемый процесс ведется согласно целевой функции – закона управления, направленного на достижение и поддержание наиболее эффективного значения какого-либо параметра (себестоимость, износ инструмента и т. д.).

К адаптивному управлению относятся управление с самонастройкой, обобщенно-прогнозирующее управление и управление на основе нечеткой логики. Все эти способы управления нашли применение в различных технических системах, но не получили широкого распространения по ряду причин. Основными недостатками данного типа управления является его малая гибкость: при изменениях в объекте управления или во внешних условиях требуется перестраивать модель и определять для нее новый закон управления.

Таким образом, требуется постоянно «вручную» определять адекватность математической модели. Альтернативой существующим системам управления являются искусственные нейронные сети (НС). НС являются математическим аналогом биологических нейронов мозга. НС основаны на объединенной теореме Колмогорова–Арнольда–Хехт–Нильсена из которой, в частности, следует, что для любого алгоритма существует НС, которая его реализует, что говорит о том, что НС являются универсальными вычислительными средствами для аппроксимирования функций.

Преимуществами НС перед традиционными системами управления являются:

1. НС могут обучаться любым функциям, важен только объем предоставленных данных и выбор правильной нейронной модели. Таким образом, НС позволяют избежать использования сложного математического аппарата;

2. Использование нелинейных функций активации в нейронных сетях позволяет реализовать задачи с существенными нелинейностями;

3. НС являются самообучаемыми системами. Это означает возможность осуществлять управление в условиях существенных нелинейностей;

4. Высокая степень параллельности НС обеспечивает высокую производительность вычислений;

5. Архитектура параллельной обработки позволяет НС функционировать даже при повреждении отдельных элементов сети.

Из этого следует, что нейронные сети имеют большие перспективы в области управления сложным техническим оборудованием.

Поэтому при выборе основы системы управления промышленным судном было принято решение использовать нейронную сеть.

Анализ публикаций по данной теме

Работы по построению автоматизированной системы управления промышленным судном на этапе замета кошелькового невода на данный момент автору неизвестны.

В свою очередь, отдельные элементы системы «судно – кошельковый невод» изложены в следующих работах [1] - [5].

Результаты исследований

Представим наш объект управления (промышленное судно) в следующем виде:

$$\xi(t+1) = g(\xi(t), \dots, \xi(t-n+1), u(t), \dots, u(t-m)). \quad (1)$$

Тогда инверсная нейросетевая модель имеет вид:

$$\hat{u}(t) = \hat{g}^{-1}(\xi(t+1), \xi(t), \dots, \xi(t-n+1), u(t-1), \dots, u(t-m)). \quad (2)$$

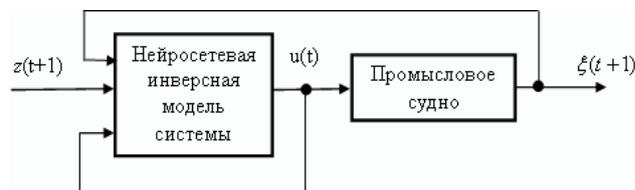


Рис. 1. Структурная схема

Структурная схема нейросетевой системы управления с инверсной моделью приведена на рис. 1. Данная модель обучается на основе статистики предыдущих управлений, а в режиме непосредственного функционирования использует следующий вектор входов:

$$v(t) = [z(t+1), \xi(t), \dots, \xi(t-n+1), u(t-1), \dots, u(t-m)]^T, \quad (3)$$

где $z(t+1)$ - желаемый выходной сигнал системы для момента времени $t+1$.

Основной проблемой при построении нейрорегулятора является процесс обучения нейронной сети. Очевидно, что исходя из поставленной задачи, процесс обучения должен проходить в реальном времени. Изначально определимся с критерием, в соответствии с которым будем оптимизировать параметры нейронной сети, т.к. нашей основной задачей является максимальное приближение выхода объекта к желаемому значению, определяемому уставкой. Таким образом, более естественно выглядит критерий типа

$$J(\theta, \psi^N) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (z(t) - \xi(t))^2, \quad (4)$$

где θ - вектор настраиваемых параметров нейронной сети, включающий весовые коэффициенты и нейронные смещения, $\psi^N = \{[z(t), \xi(t)], t = \overline{1, N}\}$ - множество статистических данных, состоящее из N пар «вход-выход».

Как один из вариантов, рассмотрим рекуррентный градиентный метод обучения нейросетевой модели. В соответствии с этим методом критерий (4) необходимо модифицировать

$$J_t(\theta, \psi^t) = J_{t-1}(\theta, \psi^{t-1}) + (z(t) - \xi(t))^2. \quad (5)$$

Предположим, что составляющая $J_{t-1}(\theta, \psi^{t-1})$ минимизирована, а весовые коэффициенты нейросетевой модели в момент времени t настраиваются в соответствии с выражением

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) - \mu(t) \frac{de^2(t)}{d\theta}, \tag{6}$$

где μ - шаг алгоритма на текущей итерации, $e(t) = z(t) - \xi(t)$ - ошибка управления. Тогда

$$\begin{aligned} \frac{de^2(t)}{d\theta} &= \frac{d(z(t) - \xi(t))^2}{d\theta} = \\ &= -2 \frac{d\xi(t)}{d\theta} (z(t) - \xi(t)) = -2 \frac{d\xi(t)}{d\theta} e(t) \end{aligned} \tag{7}$$

Далее вычислим градиент

$$\begin{aligned} \frac{d\xi(t)}{d\theta} &= \frac{\partial \xi(t)}{\partial u(t-1)} \frac{\partial u(t-1)}{d\theta} = \\ &= \frac{\partial \xi(t)}{\partial u(t-1)} \left[\frac{\partial u(t-1)}{d\theta} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial u(t-1)}{\partial \xi(t-i)} \frac{d\xi(t-i)}{d\theta} + \right. \\ &\left. + \sum_{i=1}^n \frac{\partial u(t-1)}{\partial u(t-i)} \frac{du(t-i)}{d\theta} \right]. \end{aligned} \tag{8}$$

В формулу (8) входит якобиан $\frac{\partial \xi(t)}{\partial u(t-1)}$, который может быть получен с использованием прогнозирующей модели системы. В качестве прогнозирующей модели, как вариант, можно использовать эталонную модель системы «судно – кошельковый невод».

Структурная схема нейросетевого регулятора представлена на рис. 2.

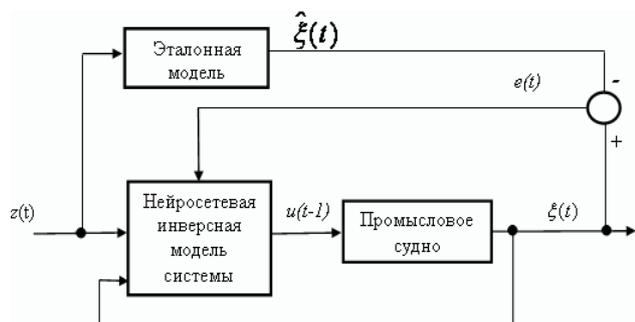


Рис. 2. Элемент композиции

Основой эталонной модели «судно – кошельковый невод» может быть следующая система обыкновенных дифференциальных уравнений [5]

$$\begin{cases} m(1+k_{11}) \frac{dv}{dt} - m(1+k_{11})v\beta \frac{d\beta}{dt} + m(1+k_{22})v\omega\beta = P - X_k - X_p \\ -m(1+k_{22})\beta \frac{dv}{dt} - m(1+k_{22})v \frac{d\beta}{dt} + m(1+k_{11})v\omega = Y_k + Y_B - Y_p \\ I_z(1+k_{66}) \frac{d\omega}{dt} - m(k_{22} - k_{11})v^2\beta = M_k + M_p - M_B \end{cases} \tag{9}$$

где

$$k_{11} = \frac{\lambda_{11}}{m}, \quad k_{22} = \frac{\lambda_{22}}{m}, \quad k_{33} = \frac{\lambda_{33}}{m}$$

- коэффициенты при соединенных масс;

λ_{11} - масса присоединенной жидкости вдоль продольной оси;

λ_{22} - масса присоединенной жидкости вдоль поперечной оси;

λ_{66} - масса присоединенной жидкости при вращении судна относительно вертикальной оси;

ω - угловая скорость судна;

β - угол дрейфа;

m - масса судна;

v - скорость судна;

I_z - момент инерции массы судна относительно вертикальной оси;

X_k, Y_k, M_k - продольная, поперечная, составляющие сил вихревой природы и момент рыскания;

X_p, Y_p, M_p - продольная, поперечная силы на руле и момент создаваемый поперечной силой руля относительно центра тяжести судна;

P - упор создаваемый гребными винтами.

Модель (9) не учитывает влияние невода на движение судна.

Как ранее было замечено, при выметывании невода изменяется момент инерции массы судна относительно вертикальной оси I_z .

Примем скорость выметывания невода равной скорости судна, тогда

$$I_z = I_{z0} + \rho^2 (m_H - v \cdot t \cdot \frac{m_H}{L}), \tag{10}$$

где

I_{z0} - момент инерции массы судна относительно вертикальной оси без невода;

m_H - масса кошелькового невода;

L_H - длина невода;

ρ - расстояние между центрами масс судна и невода.

Также необходимо учесть силу, приложенную к судну со стороны невода, определяемую натяжением «проводника» и имеющую две составляющие X_H, Y_H .

Тогда эталонная модель системы «судно – кошельковый невод» в общем, виде примет следующий вид:

$$\begin{cases} m(1+k_{11}) \frac{dv}{dt} - m(1+k_{11})v\beta \frac{d\beta}{dt} + m(1+k_{22})v\omega\beta = P - X_k - X_p - X_H \\ -m(1+k_{22})\beta \frac{dv}{dt} - m(1+k_{22})v \frac{d\beta}{dt} + m(1+k_{11})v\omega = Y_k + Y_B - Y_p - Y_H \\ \left[I_{z0} + \rho^2 (m_H - v \cdot t \cdot \frac{m_H}{L}) \right] (1+k_{66}) \frac{d\omega}{dt} - m(k_{22} - k_{11})v^2\beta = M_k + M_p - M_B \end{cases} \tag{11}$$

Вывод

В результате первых опытов имитационного моделирования данной системы в среде MatLab средняя ошибка попадания судна в начальную точку траектории составила 3% от длины невода.

При этом следует отметить, что на данном этапе решалась упрощенная задача, т.е. в систему не вносились внешние возмущения (ветер, волнения моря и т.д.). В дальнейшем планируется произвести имитационное

моделирование при различных возмущениях. Первые опыты показали, что для повышения устойчивости системы необходимо в обратную связь по ошибке регулирования включить фильтр.

Первые результаты моделирования показали целесообразность использования нейросетевой системы управления промысловым судном кошелькового невода.

Литература

1. Андреев Н.Н. Проектирование кошельковых неводов. - М.: Пищевая промышленность, 1970. – 278с.
2. Фридман А.Л. Теория проектирования орудий промышленного рыболовства. - М.: Пищ. пром-ть, 1969. –568 с.
3. Ивановский Н.В. Численное моделирование процесса погружения нижней подборы кошелькового невода // Рыбное хозяйство Украины, 2004. - № 7. - С. 33-45.
4. Ивановский Н.В. Математическая модель процесса погружения кошелькового невода на глубинах меньших его высоты / / Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий: Сб. науч. тр. / Керченский морской технологический институт. - Керчь, 2005, выпуск 6. - С. 166 - 174.
5. Мاستушкин Ю.П. Управляемость промысловых судов. - М. Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 232 с.

Abstract

The article is dedicated to the optimization of vessel operation at casting of purse net. The aim of the research is to increase the productivity of the fishing vessel by reducing the number of failed castings of purse net.

To achieve the goal the problem of optimal algorithm of a vessel control at casting of purse net is solved. As a result of solution of particular problems, the optimal planning methods of mechanical trajectory of a vessel at casting of purse net were used, as well as mathematical model of change of angular velocity in a function of rotation, with the influence of the net.

Optimal planning of the actual trajectory at casting of purse net is carried out by the inverse method, taking into account the control object specificity. This method allowed the minimization of the probability of error to get the starting point of net casting at his return, through the introduction of reserve of control actions.

According to the result of the first experiments of the system simulation in MatLab, the average error of the vessel getting to the starting point of the trajectory constitutes 3% of the length of the net. It should be noted that the problem was simplified at this stage, i.e. external disturbances (wind, sea state, etc.) were not taken into account

Keywords: *optimization, control of the vessel, purse net, trajectory planning, choice purposefulness, algorithms, system, productivity increase*