

Стратегия управления транспортным потоком беспилотных судов на основе интеграции знаний

Ю. И. Нечаев, К. В. Пшеничная, А. С. Тобольченко
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
Санкт-Петербург, Россия
nechaev@mail.ifmo.ru

Аннотация. Рассматривается теоретический базис стратегии управления транспортным потоком беспилотных судов на основе интегрированных знаний программного комплекса центра дистанционного управления (ЦДУ) и многофункционального программного комплекса (МПК) и бортовой интеллектуальной системы (ИС).

Ключевые слова: беспилотное управление; центр дистанционного управления; бортовая интеллектуальная система.

I. ВВЕДЕНИЕ

В исследованиях и практических приложениях автоматизированного управления особую актуальность приобретает анализ и синтез задач контроля движения ТП беспилотных судов в режиме экстренных вычислений (Urgent Computing – UC) [1]–[5]. Поиск эффективных путей решения этой сложной проблемы привел к использованию методов и моделей, основанных на реализации интеллектуальных технологий и современной теории катастроф (СТК) [1]. Практическая реализация интегрированной программной среды ЦДУ на основе МПК и бортовой ИС представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема программного комплекса

Теоретическая база моделей интерпретации текущих ситуаций на основе данных динамических измерений совершенствуется в направлении решения сложных

проблем эволюционной динамики беспилотных судов при различном уровне внешних возмущений.

Функциональные возможности МПК в составе центра ЦДУ реализуются на основе концепции управляемого дистанционного эксперимента [2],[3], в рамках которого формируется необходимая информация и организация ее передачи между отдельными подсистемами ЦДУ и потребителем (беспилотным ТП в заданном районе эксплуатации).

Задача контроля нестационарной динамики ТП состоит в исследовании поведения беспилотных судов при различном состоянии акватории и уровне действующих возмущений. Автоматизация управления поддерживается с помощью нечеткой формальной системы (НФС) ЦДУ [2].

II. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТП БС

Рассмотрим особенности измерительной технологии, интегрирующей управленческие решения в бортовых ИС и МПК в составе ЦДУ. Интегрированная измерительная система содержит модели предварительной обработки информации в системе автоматизированного управления ТП беспилотных судов на основе ЦДУ. С помощью таких моделей эффективно решаются задачи идентификации и прогноза, контроля и управления ТП в нестационарной внешней среде (рис. 2).



Рис. 2. Стратегия измерений при интерпретации эволюционной динамики ТП беспилотных судов

Измерительная технология, обеспечивающая интерпретацию модели информационной среды $M(S)$

анализа текущих ситуаций при функционировании системы ИП в ЦДУ можно представить в виде обобщенной структуры [2]:

$$M(S) = \left\langle \begin{matrix} F(S), S(t), B(AR), \\ D(Q, W, V), U(PC) \end{matrix} \right\rangle, \quad (1)$$

где $F(S)$ – функциональные компоненты; $S(t)$ – исследуемые ситуации; $B(AR)$ – динамическая база знаний; $D(Q, W, V)$ – обобщенная база данных; $U(PC)$ – управляющий программный комплекс.

Поведение беспилотного судна на основе данных динамических измерений бортовой ИС описывается вектором состояния $x = \{x_i\}$ ($i=1, \dots, n$). Внешние возмущения характеризуются вектором $W = \{W_k\}$ ($k=1, \dots, K$). Выходные координаты системы $y = \{y_j\}$ ($j=1, \dots, m$) представляют собой регулируемые величины, зависящие от управляющих воздействий $U = \{u_q\}$ ($q=1, \dots, Q$), под которыми понимаются практические рекомендации по обеспечению безопасности мореплавания. Функционирование системы ИП обеспечивает оперативный контроль и выдачу практических рекомендаций R_1, \dots, R_n в режиме УС. Наблюдения фиксируются в дискретные моменты времени $1, 2, \dots, t$ и характеризуют информационный вектор [2]:

$$J(IS) = (\theta, \psi, \dots, \zeta, t \in [t_o, T]), \quad (2)$$

где $\theta, \psi, \dots, \zeta$ — параметры, определяющие состояние беспилотного судна.

На основе данных о параметрах $\theta_t, \psi_t, \dots, \zeta_t$ ведется анализ ситуации и строится прогнозирующая функция, наилучшим образом отображающая тенденции в изменении компонент информационного вектора (2). Задавая предельные значения $\theta_t^*, \psi_t^*, \dots, \zeta_t^*$ характеристик беспилотного судна исходя из обеспечения требований безопасности мореплавания, можно установить интервал времени $\tau = \tau_{\min}$, в пределах которого обеспечивается это требование:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{\min} \quad \forall \theta(t) \leq |\theta^*|, \\ \psi(t) &\leq |\psi^*|, \dots, \zeta(t) \leq |\zeta^*|. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, задача контроля поведения беспилотных судов на основе выражений (2), (3) состоит в рассмотрении стохастической дискретной системы с n -мерным пространством входов. Выходы системы в момент времени t представляют собой вектор-столбцы измеренных параметров, представленных информационным вектором.

Измерительная система ЦДУ выполняет функции автоматизации управления ТП беспилотных судов в заданной акватории на основе следующих средств:

$$J(CDU) = (S, R, L, C, t \in [t_o, T]), \quad (4)$$

где S – датчики приближения, R – радары, L – лидар, АИС, инфракрасные камеры, связь и коммуникация. Характеристика измерительных средств ЦДУ дана в [4].

III. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБРАЗА ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ

При создании системы ИП при автоматизированном контроле поведения ТП беспилотных судов могут быть использованы различные принципы организации управления, соединения устройств и подсистем, а также способы передачи данных. В основе такой технологии предпочтение отдается структурам с распределенным интеллектом, когда предобработку и предварительный анализ данных осуществляет контроллер нижнего уровня. Эффективность сбора и обработки данных на каждом уровне зависит от информационной организации соответствующих подсистем, которая определяется организацией интерфейса. Многопроцессорная система обработки измерительной информации обеспечивает оперативный контроль текущей ситуации в режиме УС.

Оценка параметров внешней среды. Алгоритмы оценки и прогноза параметров морского волнения в бортовой ИС строятся в зависимости от особенностей контролируемой ситуации на основе представления в рамках концепции «климатических спектров» или пакетов волн различной формы и интенсивности [2].

Концептуальная модель обработки информации при интерпретации аварийной ситуации беспилотного судна в функциональных пространствах СТК имеет вид:

$$U(Str) = \{\tau(t), Q(W)\} \rightarrow Y(R), \quad (5)$$

где $U(Str)$ определяет множество стратегий контроля эволюционной динамики беспилотного судна, а ее компоненты представляют следующие структуры: $\tau(t)$ – моменты времени, определяющие развитие текущей ситуации; $Q(W)$ – значения вектора входных воздействий (состояние нестационарной внешней среды и беспилотного судна); $\{T(t) \times Q(W)\}$ – множество закономерностей в данных; $Y(R)$ – управленческие решения, генерируемые системой обобщения информации при управлении динамикой ТП.

Инфраструктура ЦДУ, управляющая процессом контроля, основана на реализации интеллектуальных технологий (ИТ) в текущих динамических ситуациях. Процедуры ИТ обеспечивают решение взаимосвязанных задач контроля динамики ТП в режиме УС при оперативной обработке текущей информации в высокопроизводительной вычислительной среде.

Интегрированный информационно-управляющий комплекс дистанционного управления аварийной динамикой беспилотного судна организован как сложная многоуровневая система интеллектуальной поддержки (ИП) управленческих решений:

$$\langle S(Int), N(R), IP(MS), IT(Kn) \rangle, \quad (6)$$

где функциональные блоки системы: $S(Int)$ – диалоговая система, обеспечивающая анализ состояния динамики ТП беспилотных судов, выработку управляющих воздействий на основе проблемно-ориентированной динамической базы знаний НФС; $M(Risk)$ – моделирование и оценка риска генерируемых решений с использованием системы

динамической визуализации; IP(MS) – выполнение сценариев развития аварийной ситуации; IT(Kn) – ИТ и структуры моделирования.

Декомпозиция функций системы контроля динамики беспилотного судна реализуется с помощью дерева функций на различных уровнях иерархии (рис. 3).

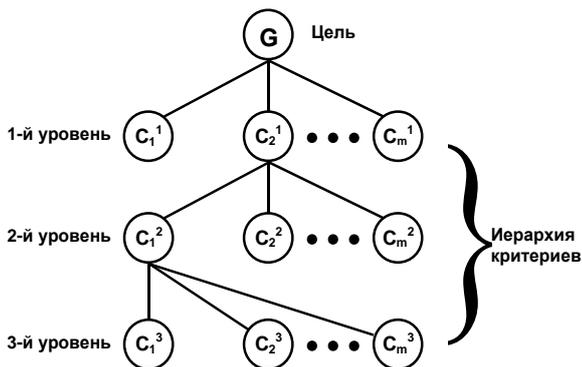


Рис. 3. Дерево функций; первый уровень - идентификация ситуации; второй уровень – оперативный контроль; третий уровень – генерация и принятие решений

На базе дерева функций осуществляется формирование целевой функции системы удаленного контроля, осуществляется идентификация и оперативный контроль ситуации и строится модель управления с использованием функциональных модулей ЦДУ. Принцип многофункциональности обеспечивает эффективное управление беспилотным судном в текущей ситуации и разрешение противоречий функционально-структурной организации ЦДУ.

IV. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

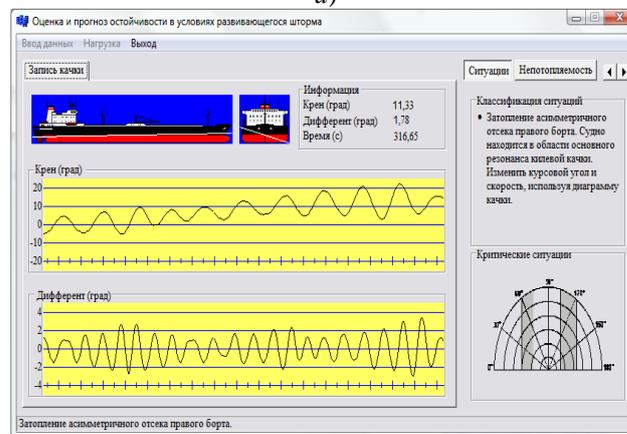
Важнейшей задачей разработки программного комплекса ЦДУ является осуществление быстрого и гибкого динамического взаимодействия оператора с программной системой. Для решения этой задачи может быть использован механизм разбиения задачи на подзадачи. Экран оператора ЦДУ в системе ИП [2] формируется на основе представления, используемого в бортовых ИС (рис. 4).

Панель выводов и рекомендаций расположена в правой части окна и предназначена для предоставления информации об обнаруженных нестандартных ситуациях и данных о внешней среде. Строка состояния содержит рекомендации и информацию об экстремальных ситуациях беспилотных судов в составе ТП.

Особенности преобразования информации. На входы интерпретирующей системы (бортовая ИС и ЦДУ) поступают сигналы с датчиков динамических измерений $S=\{s_i\}$, $i=1, \dots, n$. Каждый сигнал несет информацию об измеряемой характеристике контролируемой физической величины (текущие значения параметров беспилотных судов). По требованиям определяется максимальная интенсивность запросов на проведение измерений.



а)



б)

Рис. 4. Экран оператора программного комплекса ЦДУ (а) и при оценке поведения беспилотного судна (б)

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техническим результатом предлагаемой технологии использования измерительной информации в рамках стратегии автоматизированного управления ТП беспилотных судов является повышение эффективности ЦДУ, функционирующего в режиме УС в сложной динамической среде на основе данных динамических измерений, структурированной базы знаний и методов математического моделирования с использованием динамической модели СТК. Интегрированная система контроля ТП беспилотных судов обеспечивает реализацию управления на основе НФС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011. 292 с.
- [2] Нечаев Ю.И., Петров О.Н. Непотопляемость судов: подход на основе современной теории катастроф. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2013. 368 с.
- [3] Нечаев Ю.И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.
- [4] Nikitakas N. Fourth Industrial Revolution. University of the Aegean. 7 Oct 2019.
- [5] Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25-26, 2007.