

Раздел I. Анализ и синтез сложных систем

УДК 629.5.06

В.Г. Борисов, С.Н. Васильев, С.К. Данилова

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ-ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМИ МОРСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Рассмотрены особенности создания и возможности использования интегрированной интеллектуальной тренажерной системы (ИИТС) для подготовки операторов различных постов и подсистем управления движением морских подводных объектов (МПО), а именно предназначенной для комплексной отработки ими умения решать взаимосвязанные задачи управления режимами движения МПО. При этом в ИИТС осуществляется «проигрывание» длительного учебного морского похода с имитацией работы энергетической системы (ЯЭУ).

Интегрированная интеллектуальная тренажерная система; морской подводный объект; энергетическая система.

B.G. Borisov, S.N. Vasiliev, S.K. Danilova

MAKING THE INTEGRATED SIMULATOR SYSTEM FOR COMPLEX PROBLEMS OF MOTION MANAGEMENT SEA UNDERSEA OBJECT

In report are considered particularities of the creation and possibility of the use the integrated intellectual simulator system (IISS) for preparing operator different post and subsystems of motion management sea undersea object (MMO), as follows intended for complex отработку them skills to solve the interconnected problems of management mode motion MMO. Herewith in IISS is realized long scholastic sea march with imitation of the working the energy system (NEU).

The integrated intellectual simulator system; sea undersea object; the energy system.

Введение. Излагается технология разработки компьютерных тренажеров (КТ) для обучения операторов управления подводным морским объектом (МПО). Под обучением (тренировкой) понимается выработка, улучшение и закрепление умений и навыков оператора по управлению МПО в нормальных и аварийных режимах эксплуатации. К основным умениям и навыкам оператора относятся: восприятие детальной информационной модели обстановки, быстрый и точный анализ состояния технических средств управления (ТСУ) и МПО в целом, выработка и реализация решений по контролю и управлению движением МПО в основных штатных и в аварийных режимах.

КТ выступает специально организованной средой тренировки, обеспечивающей как имитацию динамики функционирования МПО с учетом управленческих воздействий оператора и возмущений внешней среды, так и имитацию интерфейса, имеющегося на реальном посту управления оператора МПО. Современные тенденции развития КТ требуют реализации в них также функции подстройки под профиль обучаемого и его специальных технических средств, именуемой индивидуализацией (персонализацией) процесса обучения с оценкой результатов тренировки (сертификацией обучаемого). Помимо полномасштабного моделирования динамики МПО, радикальным средством создания таких КТ является их интеллектуализация с помощью разных методов искусственного интеллекта [1, 2].

В сравнении с другими видами тренажерных систем, КТ можно отнести к наиболее эффективным по ряду таких критериев, как «сроки разработки», «качество подготовки операторов/затраты», «возможность использования на борту» и др. При этом модульная сетевая структура и интеллектуальность КТ обеспечивают эффективное создание, эксплуатацию и модификацию КТ, простое масштабирование на имеющиеся технические средства заказчика, возможность стыковки с другими КТ, например, КТ главной энергетической установки (ГЭУ), возможность использовать его для тренировки экипажа и на базе, и на борту, легко встраивая его в состав интегрированной системы управления и обучения.

Излагается модульная сетевая архитектура КТ, автоматически конфигурируемого под автономную и комплексную отработку (совместно с другими тренажерными системами) различных режимов движения МПО при использовании как различных ТСУ, так и разных рабочих алгоритмов управления в системе управления (СУ).

На примере некоторых конкретных разработок КТ рассматривается использование полных математических моделей движения конкретного МПО, моделей алгоритмов управления техническими средствами, моделей работы ТСУ, действия внешних возмущений и имитации работы реальных пультов управления [3,4]. Рассматриваются вопросы алгоритмизации формирования сценариев задания и планирования действий КТ по выполнению задания для пошагового сравнения с действиями обучаемого, как это начинает применяться в наиболее продвинутых обучающих системах следящего типа (Trace-Modelling Intelligent Computer-Based Training).

2. Основные типы комплексных заданий оператору, имитационные модели и частные задачи управления в КТ. Рассматриваются следующие *типы комплексных заданий* (режимов):

- ◆ набор полного переднего хода и стабилизация заданных параметров с обеспечением максимальной скорости хода;
- ◆ движение с ограниченной скоростью хода от минимальной до максимальной;
- ◆ малошумный ход (МШХ) с возможностью изменения скорости хода от минимальной до максимальной;
- ◆ зависание со стабилизацией глубины без хода и обеспечение переходов по глубине;
- ◆ специальные режимы маневрирования;
- ◆ погружение на ходу и без хода различными способами;
- ◆ всплытие в различные положения с учетом пространственного маневрирования;
- ◆ решение так называемой второй противоаварийной задачи (ПАЗ-II);
- ◆ решение третьей противоаварийной задачи (ПАЗ-III).

В КТ входят следующие цифровые *имитационные модели* процессов:

- ◆ пространственного движения и маневрирования объекта;
- ◆ в технических средствах заказа: движительного, рулевого комплекса и комплекса изменения балласта;
- ◆ влияния внешних возмущений от волнения моря, изменения плотности воды и обжатия корпуса, свободной поверхности, заклинки, поступления воды в помещение и т.п.:
 - изменения тяги гребного винта;
 - изменения положения рулей;
 - изменения расхода и запаса воздуха высокого давления (ВВД);
 - изменения главного и вспомогательного балластов (ГиВБ);
 - изменения технических характеристик и арматуры ГиВБ.

В КТ рассматриваются следующие *частные задачи управления*:

- ◆ локальное управление ТСУ объекта, реализуемое в имитационных моделях;
- ◆ координированное управление ТСУ объекта, реализуемое в имитационной модели;
- ◆ фильтрация и вычисление неизмеряемых параметров, координат движения и внешних возмущений;
- ◆ дистанционное управление положением рулей;
- ◆ автоматическое управление по дифференту Ψ ;
- ◆ автоматическое управление по глубине η с $\Psi \neq 0$;
- ◆ автоматическое управление по η с $\Psi \approx 0$;
- ◆ автоматическое управление по курсу φ ;
- ◆ автоматическая стабилизация крена θ ;
- ◆ формирование предсказанных значений Ψ , η и формирование признаков наличия задач ПАЗ-II, ПАЗ-III;
- ◆ автоматическое управление при задаче ПАЗ-II;
- ◆ формирование рекомендаций по управлению при задаче ПАЗ-III ;
- ◆ автоматическая стабилизация без хода;
- ◆ автоматическое управление без хода;
- ◆ изменение мощности ГЭУ.

3. Компьютерная технология конфигурирования КТ и обучения. Разработанная технология нацелена на удовлетворение следующих основных требований:

- ◆ реализация полных нелинейных моделей объекта, работы технических средств управления, внешних возмущений;
- ◆ разработка полномасштабного имитационного моделирования совместного движения объекта, работы ТСУ, возмущений в нормальных и аварийных режимах управления в реальном и ускоренном времени;
- ◆ организация индивидуализируемого обучения с применением имитации реальных пультов операторов;
- ◆ модульность и реконфигурируемость прикладного программного обеспечения (ПО) и т.д.

Применение этой технологии и разработанного ПО позволяет обеспечить повышенное качество подготовки операторов. Основные возможности создаваемых КТ:

- ◆ динамическое формирование сценариев работы систем управления и тренажёрных систем для обучения операторов работе в нормальных и аварийных режимах эксплуатации объекта;
- ◆ использование формализованных описаний основных задач управления, рабочих параметров и виртуальных пространственных отображений поведения объекта и работы ТСУ;
- ◆ формирование и реализация полной имитационной модели движения объекта, воздействия среды и работы ТСУ;
- ◆ синтез алгоритмов оптимального и субоптимального автоматического управления, отработка уже созданных алгоритмов с учётом полных математических моделей объекта и основных ограничений ТСУ.

Технология и ПО используются:

- ◆ для отработки алгоритмов оптимального и субоптимального и штатного автоматического управления морскими подвижными объектами;
- ◆ получения сравнительных численных характеристик эффективности применения различных алгоритмов, используемых ТСУ и датчиков;

- ◆ оценки качества работы всей системы управления при использовании различных алгоритмических структур управления с учетом их взаимного влияния;
- ◆ отработки на полной имитационной модели координированной работы операторов постов управления (ПУ) при использовании различных алгоритмических структур;
- ◆ обучения и контроля подготовленности операторов постов управления;
- ◆ отработки сценариев работы и ПО для обучения операторов с использованием визуальной имитации работы реальных пультов управления для различных типов компьютерных тренажеров;
- ◆ определения требований к характеристикам и взаимодействию различных подсистем, задач и операторов в режимах автоматического, полуавтоматического и дистанционного управления для штатных и аварийных ситуаций.

Компьютерная технология и соответствующее ПО реализованы в сетевом варианте и практически используется при отработке штатных алгоритмических структур управления систем управления реальными подводными объектами и при построении тренажеров для обучения операторов.

4. Обеспечение автоматизированной подготовки и реализации различных сценариев обучения. Сценарий обучения оператора выполнению комплексных заданий предполагает формирование у него навыков планирования и реализации целенаправленных действий на основе предварительно полученных им навыков решения частных задач управления. В КТ специальный блок анализа действий обучаемого по результатам сравнения этих действий с известным или сформированным в КТ автоматически планом действий может корректировать стратегию обучаемого, выдавая рекомендации и оценки качества управления. При этом используется модель обучаемого: операционно-действенный компонент (степень овладения им навыками решения задач определенных классов) и мотивационно-волевой компонент (предпринятые усилия, самостоятельность, фрустрационность поведения).

При разработке КТ предусматриваются различные варианты обучения операторов в зависимости от уровня подготовки – от начального («Новичок») до классного специалиста. Для оценки характеристики "Усилия" в модели обучаемого полезно получить от обучаемого балльную оценку собственной подготовленности к выполнению предлагаемого задания, поскольку реальные усилия при одинаковой результативности отличаются у обучаемых с разной степенью подготовки. Характеристика "Самостоятельность" оценивается с учетом запрошенных подсказок (их количества и степени конкретности), а признаками фрустрационного поведения являются многократные повторы неправильных действий, попытки найти "узкие места" в КТ, тренировка методом множественных проб и ошибок с запоминанием удачной последовательности действий и т.д. [5–8].

Работа инструктора по формированию заданий и сценариев обучения различной сложности (для их последующего многократного использования в процессе обучения) поддерживается инструкциями по набору ситуаций в каждом режиме, модульностью соответствующего ПО и логикой сборки для индивидуализации процесса обучения. На начальных этапах обучения (программа «Новичок») требуется большой объем представления справочной и дополнительной информации, чем при повышении квалификации классных специалистов. На всех этапах КТ может настраиваться на профиль предпочтений обучаемого путем наблюдения за его выборами в типовых ситуациях.

Предусматривается несколько вариантов реализации визуализации и документирования всех сценариев обучения. Компьютерная имитация рабочих панелей ПУ с

выдачей сообщений и сигналов, характерных для МПО, и создание виртуальной реальности с использованием дополнительных видеокадров пространственного поведения объекта в реальном и ускоренном времени, визуализация работы ТСУ и работы типовых алгоритмов систем управления МПО в нормальных и аварийных режимах эксплуатации и маневрирования существенно повышают эффективность обучения. Кроме того, в КТ предусматривается возможность графического и табличного представления движения объекта, работы ТСУ, задание точек возврата и повторения отдельных этапов выполнения различных режимов управления МПО, а также возможности запоминания действий обучаемых и последующего анализа процесса и результатов обучения по каждому обучаемому для его сертификации.

5. Оснащение рабочих мест инструктора и обучаемого (РМИ, РМО). Достаточный набор компьютерных средств рабочего места КТ включает не менее одной ПЭВМ с двумя мониторами, сетевые технические средства, системное и прикладное ПО, встроенный цифровой комплект эксплуатационной документации, клавиатуру, мышь и 2 джойстика. Варианты размещения имитационных панелей ПУ в КТ могут быть разными:

- ◆ в режиме отладки сценариев – все панели на одном компьютере (работа с переключением окон);
- ◆ при проведении сеанса обучения на двух компьютерах (штатный вариант) – РМИ на одном компьютере с 2-я экранами и РМО на одном компьютере с 2-я экранами;
- ◆ в режиме полной имитации каждой панели ПУ на РМИ и на РМО – всего до 18 компьютеров с 1 экраном или до 9 компьютеров с 2-я экранами каждый.

Выводы:

1. Разработана компьютерная технология создания интеллектуальных, сетевых, конфигурируемых компьютерных тренажеров для подготовки операторов управления движением МПО. Создано модульное программное обеспечение, реализующее функции обучения с использованием полной математической модели объекта, ТСУ, систем управления и действующих возмущений.

2. Разработана типовая информационная модель КТ с компьютерной поддержкой формирования инструктором сценариев обучения и индивидуализируемого исполнения этих сценариев на КТ.

3. Разработан опытный образец КТ для конкретного проекта МПО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е.* Интеллектуальное управление динамическими системами. – М.: Физико-математическая литература, 2000.
2. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект: Современный подход. – М. – СПб. – Киев: Изд. дом «Вильямс», 2006.
3. *Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О.* Встроенный понятийный тренажер для обучения операторов управления подводным объектом // Труды 5 Межд. конференции по морским интеллектуальным технологиям «Моринтех-2003». Изд-во НИЦ «МОРИНТЕХ», 2003.
4. *Борисов В.Г., Данилова С.К., Чинакал В.О.* О построении интегрированных систем навигации, управления и обучения операторов на базе методов интеллектуального управления // Труды XII Санкт-Петербургской Международной конференции по интегрированным навигационным системам. – СПб.: Электроприбор, 2005.
5. *Vassilyev S.N., Smirnova N.V., Sukonnova A.A., and Shvarts A.Yu.* Intelligent Tutoring System "Volga": Architecture and Methods // Proceedings of the International Scientific Conference "Information and Computer Technologies, Modelling, Control". Tbilisi: Georgia. 2010. – P. 56-76.

6. *Васильев С.Н.* Методы интеллектуализации компьютерных систем обучения // Материалы 1-й Всероссийской научной конференции с международным участием "Системный анализ и семиотическое моделирование" (SASM-2011). – 2011. – С. 3-12.
7. *Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А.* Образ в системе психической регуляции деятельности. – М.: Наука, 1986.
8. *Бодров В.А., Орлов В.Я.* Психология и надежность: человек в системе управления техникой. – М.: ИП РАН, 1998.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Х. Пшихопов.

Васильев Станислав Николаевич

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

E-mail: snv@ipu.ru.

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65.

Тел.: 84953348910.

Директор института; академик РАН.

Данилова Светлана Кузьминична

E-mail: lab57_1@ipu.ru.

Тел.: 84953349240.

Ведущий научный сотрудник; к.т.н.

Борисов Владимир Георгиевич

Ведущий научный сотрудник; к.т.н.

Vasiliev Stanislav Nikolaevich

Trapeznikov Institute to Control Sciences of Russian Academy of Sciences.

E-mail: snv@ipu.ru.

65, Profsoyuznaya Street, Moscow, 117997, Russia.

Phone: +74953348910.

Director of the Institute; Academician RAS.

Danilova Svetlana Kuziminichna

E-mail: lab57_1@ipu.ru.

Phone: +74953349240.

Leading scientific employee; Cand. of Eng. Sc.

Borisov Vladimir Georgievich

Leading scientific employee; Cand. of Eng. Sc.

УДК. 004.89

А.В. Ивашенко, О.В. Карсаев, П.О. Скобелев, А.В. Царев, Р.М. Юсупов

**МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Рассматривается технология разработки мультиагентных систем, развиваемая совместными усилиями СПИИРАН и НПК "Разумные решения" (Группа компаний «Генезис знаний»), которая может использоваться для разработки сетевых систем управления. Дается сопоставление возможностей мультиагентных систем с проблемами, связанными с разработкой сетевых систем управления.

Мультиагентная технология; сетевые системы управления.