

ПОСТРОЕНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПО ТРАЕКТОРИИ

М.Х. Дорри, А.А. Рощин, Л.А. Серода

Представлен фрагмент стенда для визуализации работы системы управления подводного аппарата, позволяющего визуально оценивать работу алгоритмов управления при движении по заданной траектории в условиях сложного рельефа дна.

Ключевые слова: подводный аппарат, рельеф дна, движение по траектории, программный комплекс, визуализация, исследовательский стенд.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из необходимых свойств перспективного беспилотного подводного аппарата (ПА) состоит в его способности действовать в непосредственной близости от берегов и дна водоемов.

В процессе разработки системы управления движением ПА необходимо ее моделирование в целях выбора структуры системы, проверки алгоритмов, настройки коэффициентов и т. п. Представление результатов моделирования в виде чисел, таблиц и графиков позволяет оптимизировать и фиксировать точные значения отклонений параметров движения от заданных. Для оценки пригодности того или иного алгоритма весьма полезна система визуализации результатов моделирования, отображающая движение ПА относительно дна и других объектов. При наличии таковой системы исследователь, выбирающий и проверяющий алгоритмы управления, сможет достаточно быстро оценить ситуацию, в которой алгоритм не справился с управлением (крутой изгиб заданной траектории с узкой трубкой допустимых отклонений, близость дна со сложным рельефом и т. п.).

1. ОБЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МАКЕТА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА

Визуализация движения судна по траектории актуальна в системах поддержки принятия решений [1], а также при разработке и проверке алго-

ритмов управления движением [2]. В работе [3] авторами приведены алгоритмы управления движением судна по заданной траектории. Дальнейшим развитием проведенных исследований стала разработка стенда для моделирования системы управления движением ПА и уточнение параметров алгоритмов при движении по заданной траектории в сложных условиях.

На рис. 1 изображен фрагмент структурной схемы стенда, созданного в программном комплексе РДС, разработанном в ИПУ РАН [4]. Программный комплекс обладает рядом свойств, позволя-

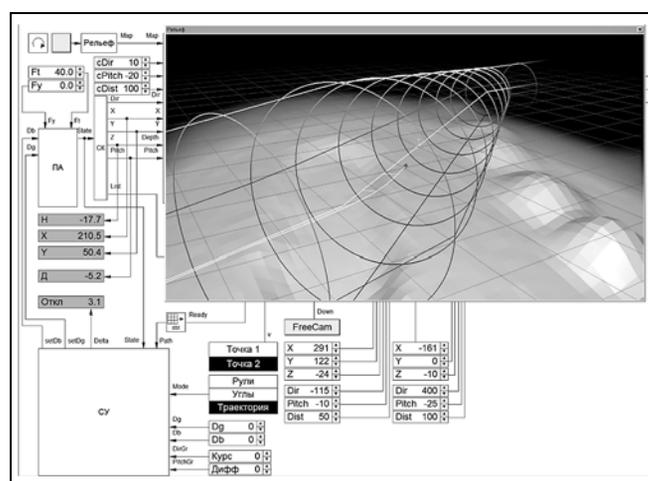


Рис. 1. Фрагмент структурной схемы системы управления и блока визуализации

ющих решать такого рода задачи при управлении движением судов. К таким свойствам можно отнести:

— возможность создания анимированных изображений, вид которых изменяется согласно параметрам моделируемого объекта (в данном стенде эта возможность используется для трехмерного отображения ситуации вокруг моделируемого ПА, отображения заданной траектории и др.);

— возможность включения в стенд программ на языке высокого уровня, обеспечивающих доступ ко всем функциям операционной системы для работы с файлами, для связи по сети и др. (в данном стенде эта возможность используется для организации хранения карты рельефа дна в файлах на диске и подгрузки их в память по мере перемещения ПА);

— возможность использования при моделировании сложных структур данных для описания параметров моделируемых объектов (в данном стенде это используется для моделирования параметров множества окружающих ПА объектов, описания рельефа дна, заданной траектории);

— гибкие средства взаимодействия между интерфейсными и расчетными блоками стенда (это используется для введения в стенд произвольного количества окружающих объектов, взаимодействия модели ПА с блоком описания рельефа, задания различных точек наблюдения за ситуацией — как фиксированных, так и перемещающихся вместе с ПА).

2. БЛОК ВИЗУАЛИЗАЦИИ

При создании стенда был разработан блок визуализации движения, позволяющий отображать в трехмерном пространстве произвольную линию заданной траектории с трубкой допустимых отклонений и рельеф дна в районе движения ПА с возможностью рисования линии сечения рельефа с горизонтальной плоскостью на текущей глубине погружения ПА.

Блок визуализации взаимодействует с блоком формирования матриц отсчетов глубин «Рельеф» (см. рис. 1), обеспечивающим динамическую загрузку данных рельефа дна вблизи текущего положения ПА с диска. Вся карта рельефа делится на квадратные ячейки с заданной стороной. Каждый такой квадрат представляет собой квадратную матрицу отсчетов глубин, взятую с постоянным шагом по обеим координатам в плоскости XU (шаг одинаков для всех ячеек). Например, если сторона ячейки карты — 500 м, и отсчеты в них записаны с шагом 20 м, каждая ячейка будет представлена матрицей 25×25 элементов.

В процессе перемещения ПА блок визуализации запрашивает у блока формирования необходимые ему ячейки карты и получает в ответ соответствующие матрицы с данными загруженных квадратов. В процессе работы блок визуализации запрашивает общие параметры рельефа дна, т. е. размер ячейки и шаг отсчетов. Они загружаются один раз в начале обмена данными между блоками, далее используются их запомненные значения. Если по какой-либо причине эти параметры должны быть изменены в реальном времени (например, аппарат вышел в район, для которого доступна более подробная карта рельефа дна с меньшим шагом отсчетов), блок формирования матриц отсчетов глубин может сообщить об этом блоку визуализации, в результате чего последний вновь запросит общие параметры рельефа дна. В процессе работы блок визуализации постоянно обращается к блоку формирования матриц отсчетов глубин, сообщая ему номера (координаты) ячеек, которые требуется загрузить. В ответ на такой запрос блок формирования матриц отсчетов глубин передает матрицу, составленную из отсчетов запрошенной ячейки.

3. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА

Рассмотрим подробнее источники данных о рельефе дна. Они могут быть различными: хранящаяся в памяти карта, выходные данные блоков, моделирующих работу интеллектуальных гидроакустических приборов и др. В созданном стенде данные отсчетов глубин загружаются с диска из заранее подготовленных файлов. Для удобства подготовки и проверки подготовленных данных разработана программа цветовой визуализации карты глубин. Такое изображение позволяет примерно представить себе карту рельефа дна и заметить грубые ошибки оцифровки.

Для построения изображения в блоке визуализации необходимо одновременно иметь данные нескольких соседних ячеек, находящихся в поле зрения наблюдателя. Число этих ячеек зависит от установленной в настройках блока визуализации дальности видимости рельефа и размера самих ячеек. Чтобы изображаемая поверхность дна не обрывалась в пустоту за пределами загруженных ячеек, по мере отдаления деталей рельефа от ПА при его движении яркость этих деталей плавно уменьшается до полного слияния их с цветом фона. В блоке визуализации загрузкой и яркостью элементов рельефа управляют параметры *радиус неизменности цвета* R_0 , *радиус затемнения* R_1 и *радиус загрузки* R_2 (рис. 2).

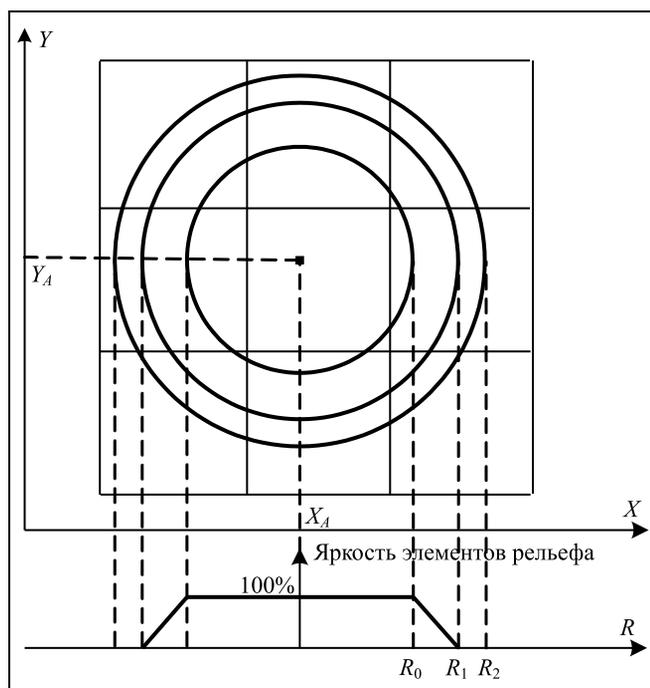


Рис. 2. Область загрузки и отображения рельефа дна

Для рисования поверхности дна по матрицам, полученным от блока формирования матриц отсчетов глубин, в блоке визуализации используется стандартная графическая библиотека OpenGL. Все матрицы отсчетов глубин для ячеек, хотя бы частично лежащих в пределах круга с радиусом загрузки R_2 и центром в точке положения ПА (x_A, y_A), хранятся в памяти блока визуализации, и по ним осуществляется построение трехмерной поверхности. Как только аппарат смещается настолько, что в пределы круга попадает отсутствующая в памяти ячейка, данные его отсчетов глубины запрашиваются у блока формирования матрицы. Вышедшие из круга ячейки удаляются из памяти блока. Таким образом, блок визуализации хранит только данные всех отсчетов глубины в радиусе R_2 вокруг ПА, что позволяет оптимизировать объем используемой памяти.

При построении трехмерного изображения поверхности все ее точки, находящиеся внутри круга с радиусом неизменности цвета R_0 , окрашиваются в цвет, заданный в настройках блока визуализации с учетом расчетов освещенности условным источником света (эти расчеты производятся автоматически библиотекой OpenGL, без них поверхность не выглядела бы трехмерной). Яркость точек, находящихся от ПА на расстоянии больше R_0 , линейно падает до нуля на расстоянии радиуса затемнения R_1 , после которого точки фактически не отображаются и сливаются с цветом фона. Значение R_1 следует выбирать меньшим значения R_2 , чтобы очередная ячейка с отсчетами глубины загружалась в память несколько раньше, чем ее данные потребуются для построения изображения.

Блок визуализации может налагать на строящуюся поверхность горизонтальную прямоугольную сетку в плоскости на текущей глубине погружения ПА и рисовать линию пересечения этой плоскости с элементами рельефа (рис. 3). Это позволяет исследователю визуально оценить положение ПА относительно дна при наблюдении за работой того или иного алгоритма управления.

Траектория, по которой ПА должен следовать, задается в виде ломаной линии. Блок визуализации строит эту линию вместе с трубкой допустимых отклонений, которая изображается в виде набора цветных окружностей заданного в каждой точке траектории радиуса (рис. 4), плоскости ко-

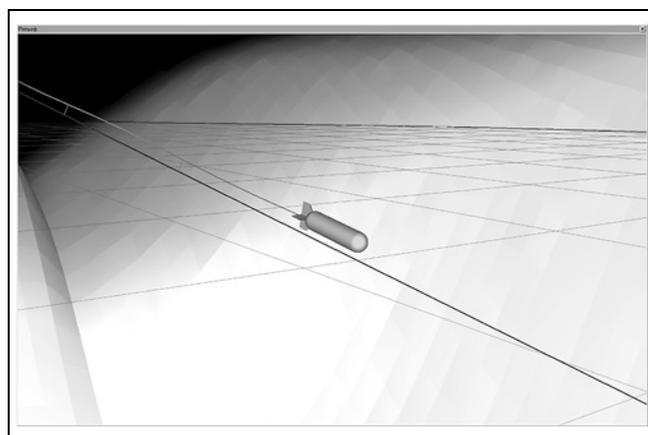


Рис. 3. Горизонтальная плоскость на глубине погружения подводного аппарата и ее пересечение с рельефом

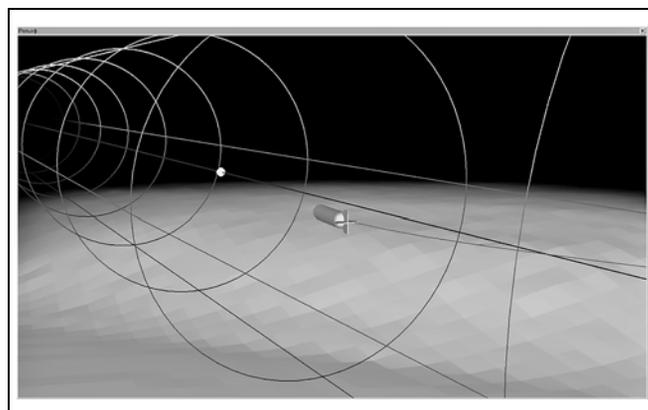


Рис. 4. Движение подводного аппарата в трубке допустимых отклонений

торых перпендикулярны линии траектории. В процессе движения ПА блок также отображает в виде линии его реальную траекторию, цвет участков которой меняется при приближении к максимально допустимому отклонению. Фактическая и заданная траектория через заданные интервалы соединяются линиями, чтобы исследователю было видно отклонение от заданной траектории.

В зависимости от выбранного алгоритма управления блоком визуализации отображаются дополнительные метки, облегчающие отладку и проверку алгоритма. Например, на рис. 4 иллюстрируется управление с учетом касательной к заданной траектории в вынесенной вперед точке, поэтому на линии заданной траектории перед ПА изображается точка определения касательной, к которой ПА стремится согласно алгоритму. Блок также позволяет показывать положение произвольного числа других точечных объектов, как неподвижных, так и перемещающихся (имеющих собственную модель).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В описанном макете исследовательского стенда не используются данные реальных рельефов дна. Он требует доработки и сопряжения с существующими форматами карт глубин и данными о рельефах, поступающими с гидролокатора.

Данный макет иллюстрирует подход к визуализации движения ПА вблизи дна, и его применение позволяет исследователю и разработчику алгоритма в процессе моделирования представить себе поведение ПА и быстро отсеять грубые ошибки в алгоритме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вересников Г.С., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Система поддержки принятия решений по выбору траектории и параметров движения морского подводного объекта // Сб. науч. тр. Военно-морского инженерного ин-та. — 2009. — Т. 2. — С. 106—121.
2. Киселев Л.В., Медведев А.В. Модели динамики и алгоритмы управления движением автономного подводного робота при траекторном обследовании аномальных физических полей // Подводные исследования и робототехника. — 2001. — № 1 (11). — С. 24—31.
3. Дорри М.Х., Никишов С.М., Острецов Г.Э. и др. Исследование и сравнение трех систем управления движением судна по заданной траектории // Судостроение. — 2017. — № 4. — С. 37—39.
4. Дорри М.Х., Рошин А.А. Программный комплекс для моделирования и исследования систем управления «Расчет динамических систем (РДС)»: Справ. руководство. Ч. 1. Устройство РДС и редактирование схем. — М.: ЛЕНАНД, 2017. — 344 с.
5. Дорри М.Х., Рошин А.А. Программный комплекс для моделирования и исследования систем управления «Расчет динамических систем (РДС)»: Справ. руководство. Ч. 2. Разработка собственных автокомпилируемых блоков. — М.: ЛЕНАНД, 2017. — 480 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Б.В. Павловым.

Дорри Манучер Хабибуллаевич — д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, ✉ dorrimax@lab49.ru,

Рошин Александр Алексеевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ✉ rochinaa@mail.ru,

Серда Леонид Анатольевич — науч. сотрудник, ✉ sereda@lab49.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.

*Поступила в редакцию 02.07.2018, после доработки 04.10.2018.
Принята к публикации 17.10.2018.*

Новая книга

Сидельников Ю.В. Экспертное прогнозирование. Монография. — М.: Доброе слово, 2018. — 248 с. — ISBN 978-5-89796-632-X.

Автором поставлена цель содействовать данной публикацией взаимопониманию англоязычных и русскоговорящих исследователей прогностики и повышению уровня качества прогнозов. Выявлены и систематизированы недостатки и трудности субъектов, участвующих в экспертном прогнозировании, и их заблуждения. Рассмотрен ряд базовых тем теории экспертной прогностики. Представлен системный анализ технологии экспертного прогнозирования. Разработаны подходы к определению меры уверенности эксперта в своей оценке и метод двухуровневого сценария. Дан аналитический обзор 11-ти простейших видов экспертных оценок, причем особое внимание обращено на работы, в которых описаны экспериментальные исследования экспертных оценок, а также обзор подходов к систематизации методов прогнозирования. Рассмотрены состояние и тенденции развития экспертизы, обоснована необходимость создания новой междотраслевой дисциплины — экспертологии, выделены ее объект и субъекты, проанализированы специфика, основные понятия и принципы экспертологии, предложена ее частная парадигма. Аprobирован метод двухуровневого сценария при разработке прогноза безработицы в России. Предложенные подходы могут быть применены для разработки экспертных прогнозов.

Для специалистов, занимающихся проблемами теории и практики экспертной прогностики, а также студентов и аспирантов, интересующихся данной тематикой.

Рецензенты: д-р экон. наук А.И. Агеев, д-р техн. наук В.Н. Бурков.