

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

T.A. Samolyuk, K.P. Sosnenko

SEMI-NATURAL MODELING AQUEOUS CONTROL PROCESSES

A generalized data processing model for the monitoring the water situation has been developed. The stages of semi-natural modeling are studied to optimize the structure of the data and methods for their processing.

Key words: model, semi-natural modeling.

Розроблено узагальнену модель обробки даних у процесах моніторингу водної обстановки. Досліджено етапи напівнатурного моделювання для оптимізації структури даних та методів їх обробки.

Ключові слова: модель, напівнатурне моделювання.

Разработана обобщенная модель обработки данных в процессах мониторинга водной обстановки. Исследованы этапы полунатурного моделирования для оптимизации структуры данных и методов их обработки.

Ключевые слова: модель, полунатурное моделирование.

© Т.А. Самолюк, Е.П. Сосненко,
2018

УДК 004.932

Т.А. САМОЛЮК, Е.П. СОСНЕНКО

ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ ВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ

Введение. Моделирование процессов принятия решений в системе мониторинга окружающей, в частности, водной среды основано на математических моделях, имеющих в значительной степени эмпирический характер. Это обусловлено чрезмерно большим количеством входных переменных модели, стохастическим характером их зависимости от реальных состояний внешней среды и ограниченной доступностью для измерения.

Полунатурное моделирование программно-технических средств мониторинга предусматривает широкий спектр работ по их доводке до состояния готовности к комплексным натурным испытаниям. Цель полунатурного моделирования – получение данных для внесения необходимых изменений в конструкцию или программу функционирования средств мониторинга.

При наличии в программе средств обучения необходимые изменения вносятся в нее автоматически в процессе моделирования.

Можно выделить два основных вида полунатурного моделирования:

- не требующие подтверждения правильности полученных решений (для привязки к внешней среде, предварительной аппроксимации и оптимизации данных);

- требующие подтверждения решений на основании известных результатов испытаний систем близкого или, наоборот, иного класса точности с реальными данными о состоянии окружающей среды и объекта наблюдения (для сравнения потенциально достижимых характеристик).

Распространение звука в неоднородной водной среде описывается двумя методами – с помощью волновой и лучевой теории. На практике, при решении прикладных задач акустической океанологии, используется некое приближение, являющееся комбинацией обоих методов. Чтобы проследить распространение акустических сигналов от источника до объекта, применяются методы лучевой теории, причины рассеяния и поглощения звука рассчитываются с помощью волновой теории.

Основным энергетическим параметром акустического поля является его интенсивность. Уменьшение интенсивности акустических сигналов при распространении в воде обусловлено расширением фронта звуковой волны и ее затуханием, зависящим от физических характеристик среды, таких, как сдвиговая и объемная вязкость, концентрация солей, наличие растворенных газов и т. д.

Интенсивность акустического поля, формируемого источником звука в однородной безграничной среде, определяет среднее значение потока акустической энергии через поверхность в $1 \text{ см}^2/\text{с}$ и описывается зависимостью [1]:

$$I(\Delta) = \frac{M_a \cdot K}{4\pi \cdot \Delta^2} \cdot 10^{-0,1\beta\Delta}, \quad (1)$$

где M_a – акустическая мощность излучения, Вт; K – коэффициент осевой концентрации источника звука; Δ – расстояние между источником и исследуемой точкой пространства, м; β – коэффициент затухания интенсивности на единицу длины (в дБ/км) или в логарифмическом виде [2]:

$$10\text{Lg}(D) = 10\text{Lg}M_L + 10\text{Lg}K - 10\text{Lg}(4\pi) - 20\text{Lg}D - \beta D_{\text{км}} \quad (2)$$

Слагаемое $(\beta D_{\text{км}} + 20\text{Lg}D)$, характеризующее убывание интенсивности вследствие расширения фронта звуковой волны и затухания звука на расстоянии D , определяет затухание интенсивности, то есть потери при распространении волн.

Отношение интенсивности акустического сигнала, излучаемого источником звука в реальной среде и интенсивности сигнала, излучаемого тем же источником на таком же расстоянии в безграничной однородной среде, называется значением (коэффициентом) аномалии реальной среды, а зависимость, описывающая отклонения закона спада акустического поля – фактором A аномалии среды.

При решении прикладных задач дальность действия гидроакустических средств (ГАС) находится вычислением трансцендентного уравнения:

$$\frac{P_0^2 \cdot \left(\frac{R_s}{2}\right)^2}{D^4} \cdot 10^{-2\beta D_{\text{км}}} \geq \delta^2 \cdot P_n^2, \quad (3)$$

где D – искомое расстояние от антенны ГАС до подводного объекта в метрах; P_0 – акустическое давление, создаваемое антенной, в Па на расстоянии 1 метра; P_n – уровень помех в Па, приведенных в полосу 1 Гц, на частоте 1 кГц; R_s – радиус эквивалентной отражающей сферы в метрах; δ – коэффициент распозна-

вания технических средств; β – коэффициент затухания акустических волн (дБ/км).

В логарифмическом виде уравнение (3) принимает вид:

$$-(20LgD + \beta D_{км}) \leq \frac{1}{2} \left[20Lg\delta + 20LgP_n - 20LgP_0 - 20Lg \frac{R_0}{2} \right]. \quad (4)$$

Левая часть этого уравнения описывает закон спада акустического поля в однородной безграничной среде. Правая часть уравнения называется энергетическим потенциалом технических средств локации P . Значение D , при котором обе части уравнения равны, соответствует максимальной энергетической дальности обнаружения. Влияние реальной морской среды аналитически учитывается добавлением в левую часть уравнения дополнительной величины A – фактора аномалии: $10LgA - 20LgD - \beta D_{км} \leq 0.5 P$.

Фактор аномалии определяется конфигурацией акустического поля, горизонтом наблюдения (глубиной объекта), состоянием водной поверхности, рельефа и характером грунтов дна. Конфигурация акустического поля зависит от распределения скорости звука в районах исследований, глубин нахождения гидролокатора и ширины его характеристики направленности.

При постоянстве фактора аномалии на дальность обнаружения объекта влияют также стабильность энергетических характеристик ГАС, размер, конфигурация и ориентация объекта наблюдения, течения, климатические сезонные и кратковременные изменения температуры водной и воздушной среды, скорости и направление ветра [2].

Впрочем, на результаты моделирования и принятие решений непосредственное влияние оказывает выбор системных параметров акустических и статистических моделей распространения звука, например, разрешения карт градиентов скоростей звука, лучевых картин и т. п.

Перечисление этих факторов указывает на то, что при использовании ГАС для обнаружения, классификации, связи и дистанционного управления в общем случае необходимо решать многоальтернативную статистическую задачу. При этом в основном оцениваются ошибки двух видов: ложные тревоги и пропуск полезного сигнала. В случае отсутствия информации о существовании объекта наблюдения в зоне поиска используются модели, основанные на критерии Пирсона – Неймана. При наличии такой информации, когда можно вероятность распределения сигнала и помехи в зоне приема аппроксимировать нормальным законом, используется статистический критерий идеального наблюдателя [1]. Таким образом, дальность действия ГАС ограничивается расстоянием, на котором вероятность правильного обнаружения объекта равна некоторому установленному значению.

Моделирование такого сложного процесса предполагает теоретическое обоснование, предварительный выбор или создание базовой, в общем случае параметрической модели, адекватно отражающей основные функциональные особенности реально протекающих процессов. На этапе полунатурного модели-

рования (на данных, полученных при применении аналогичных систем в реальной обстановке или синтезированных на их основе) происходит уточнение внутренних и системных параметров модели (например, количества слоев аппроксимации градиентов скорости звука). Полунатурное моделирование представляет важную часть любого технического проекта, так как обеспечивает существенное сокращение сроков и стоимости натуральных испытаний, а зачастую, и саму возможность их проведения.

Рассмотрим основные этапы полунатурного моделирования систем мониторинга водной обстановки, характерных для многих методов поиска и обнаружения подводных объектов. Для этого представим в виде обобщенной модели M основные группы входных данных и зависимые от них параметры модели

$$M = \{Env, Per, Tm, ACP3, Tr, An, Zn \}, \quad (5)$$

где

- Env – множество переменных, описывающих вертикальные распределения скоростей звука ($BPC3$) в воде, характеристики грунтов дна, приповерхностного слоя, ветра и наличие дальних зон обнаружения учетом их сезонных изменений для каждого района океана;

- Per – допустимые уровни ошибок принятия решений;

- $Tm = Tm(Env)$ – параметры технических средств ГАС, характеризующие энергетический потенциал гидролокационной станции (мощность, чувствительность, направленность, полоса частот) и режимы ее функционирования;

- аппроксимированное распределение скоростей звука ($ACP3$) = $Gr(Env, BPC3)$ – аппроксимированные вертикальные разрезы значений скорости звука в воде;

- $Tr = Tr(Env, ACP3)$ – трассировочные карты лучей распространения звука в воде, согласованные со слоями аппроксимации $ACP3$;

- $An = An(Env, ACP3, Tr)$ – распределение аномалий распространения звука, т.е. его отклонений от сферического закона;

- $Zn = Zn(Env, An, Tm, N)$ – распределение границ зон возможного обнаружения объекта с учетом возможных реверберационных помех и шума (N).

Последние пять групп переменных – зависимые от входных данных параметры, оптимизация которых при полунатурных испытаниях может улучшить качество всей системы. Данные о среде Env и распределении $BPC3$ формально являются независимыми. Однако, при отсутствии других альтернатив, они также могут быть изменены, например при уточнении карт течений.

Модель потоков данных в системе мониторинга водной среды показана на рисунке. Первоначально база данных содержит только среднестатистические значения $BPC3$, данные из Env и характеристики Tm технических средств ГАС.

На первом этапе для заданных значений максимального количества слоев k и шага $\Delta C \leq \sigma$ производится аппроксимация исходных значений $BPC3$.

Аппроксимированное распределение $ACP3 = (Env, BPC3, \sigma, k)$ сохраняется в базе данных, и может дополняться и уточняться в зависимости от последующих шагов моделирования.

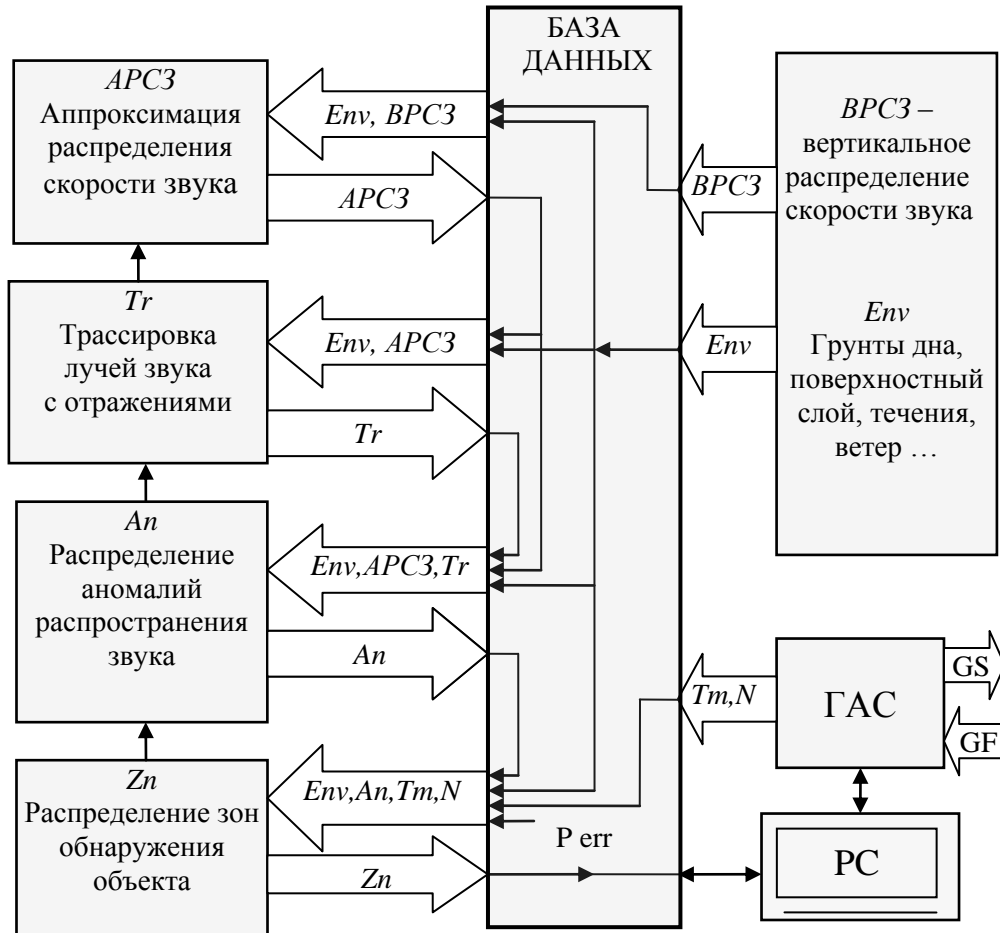


РИСУНОК. Модель потоков данных в системе мониторинга водной обстановки

На втором этапе выполняется трассировка лучей распространения звука с учетом его частоты F , углов вхождения и коэффициентов отражения ϑ_T и ϑ_D , от дна и поверхностного слоя воды. Результат трассировки существенным образом зависит от выбранных дискретных значений глубины погружения излучателя ρ_S , объекта наблюдения ρ_O и в случае их расхождения с глубинами слоев аппроксимации $ACP3$ требует корректировки последних. Полученная карта лучей $Tr = f(Env, ACP3, F, \vartheta_T, \vartheta_D, \rho_S, \rho_O)$ сохраняется в базе данных.

На третьем и четвертом этапах на основании полученной лучевой картины выполняется расчет аномалий распространения звука $An = f(Env, APC3, Tr)$ и распределения зон возможного обнаружения объекта $Zn = f(Env, An, Tm, N)$.

При решении этой задачи учитываются различные типы рефракционных искажений и многие дополнительные (помимо выше отмеченных) физические факторы среды. Применяемые приближенные методы также требуют знания глубины погружения излучателя и объекта наблюдения, что приводит к итерационным процедурам расчета для ряда фиксированных их значений.

В рассмотренной структуре потоков данных присутствует явная обратная связь – корректирование APCЗ по результатам трассировки $APCЗ = f(Tr)$, и неявная – принятие решений по изменению разрешения (точности) алгоритмов аппроксимации, трассировки лучей и расчета аномалий в случае недостаточной достоверности и дальности обнаружения объектов $APCЗ = f(Tr, Fn, Zn)$.

Применение полунатурного моделирования для решения задач такого класса позволяет в первом приближении оценить и улучшить такие параметры модели, как распределение узлов аппроксимации $BPCЗ$, количество лучей и угол раствора лучевых трубок. Критерием качества при этом может служить площадь покрытия района наблюдения зонами обнаружения при условии поддерживаемой этой проверенной моделью заданной вероятности обнаружения в них объектов (и наоборот).

Возможности полунатурного моделирования для новых программных и технических решений существенно повышаются при наличии данных о реальных испытаниях подобных систем. Например, при идентичности характеристик Tm технических средств локации можно оптимизировать не только параметры старой программной модели, но и оценить достоинства и недостатки новой, построенной на иных базовых алгоритмах обнаружения. Возможность достоверного подтверждения, что выросла доля правильных решений о присутствии (отсутствии) объекта в зонах обнаружения в этом случае подтвердит целесообразность достигнутого увеличения площади этих зон.

Можно показать, что знание о присутствии в пространстве состояний (Среда X Объект X Средства X Решение) реальных состояний позволяет оценить по некоторому критерию реальность близким к ним программно сгенерированных состояний. Данный принцип положен в основу методов аугментации (интерполяции) данных и современных генеративных состязательных сетей (GAN).

Выводы. Построена обобщенная модель обработки данных в процессах мониторинга водной обстановки и разработана ее программная реализация. Исследованы виды и этапы полунатурного моделирования для оптимизации структуры данных модели и методов их обработки в зависимости от наличия реальных данных о испытании подобных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвиенко В.Н., Тарасюк Ю.Ф. Дальность действия акустических средств. 2-е изд. Л.: Судостроение, 1982. 262 с.
2. Дивизинюк М.М. Черноморский подводный звуковой канал. Севастополь, СНИГ. 1997. 104 с.

Получено 19.10.2018