

Слияние разноконтентной информации в задачах поиска подвижных морских объектов

Heterogeneous information fusion in problems of moving maritime objects detection

Макшанов / Makshanov A.

Андрей Владимирович
(Andrey.Makshanov@mail.ru)
доктор технических наук, профессор.
ЗАО «СПИИРАН-НТБВТ»,
ведущий научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Попович / Popovich T.

Татьяна Васильевна
(t.popovich@oogis.ru)
ЗАО «СПИИРАН-НТБВТ»,
инженер-программист 2-й категории,
аспирант.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: полистатические средства обнаружения – polystatic sensors; управление – management; слияние данных – data fusion.

Рассматриваются подходы к использованию возможностей слияния информации от различных источников в интересах решения задач управления средствами, реализующими полистатические методы обнаружения объектов в подводной среде, при решении задач охраны объектов морской экономической деятельности.

This paper deals with approaches of applying heterogeneous information fusion capabilities for the sake of solving problems of management of resources, that realize polystatic methods of object detection in under-sea environment under the issue of maritime economics activities protection.

Введение

Успешность функционирования объектов морской экономической деятельности в значительной степени определяется степенью их защиты от различного рода угроз с использованием полистатических методов гидроакустического обнаружения [1]. Однако использование активных источников оказывает отрицательное влияние на экологию водной среды в районе, демаскирует используемые средства охраны, а также приводит к неоправданно высокому расходу энергоресурсов. Это определяет необходимость комбинированного использования средств, реализующих активные методы обнаружения, и пассивных средств, предназначенных для первичного обнаружения объекта-нарушителя. Эффективным инструментом решения такого рода задач является использование интеллектуальных геоинформационных систем (ИГИС), которые позволяют производить оперативный контроль местоположения объекта-нару-

шителя и на основе заложенных правил вырабатывать рекомендации по управлению.

Формулировка задачи

В охраняемой зоне Ω функционирует охранный комплекс, включающий:

- систему пассивных средств обнаружения, позволяющую на определенный момент времени t получить вероятностную плотность $f_0(x, y, t)$ предполагаемого положения объекта-нарушителя;
- независимую систему оценивания обстановки, позволяющую получить априорную плотность $\phi(x, y, t)$ возможного положения объекта;
- полистатическую систему гидроакустического (ГА) обнаружения, представляющую собой комплекс из K активных источников акустических сигналов и L приемников отраженного сигнала [1, 3].

Предполагается, что в составе системы имеется расчетный алгоритм, позволяющий для каждой точки охраняемой зоны вычислять вероятность достижения акустического контакта с объектом-нарушителем, находящимся в данной точке, для k -го активного источника, $k=1, \dots, K$ и различных значений мощности излучаемого сигнала (аппаратно-программный комплекс ПАК СГАР [2, 3]). На его основе формируется трехмерный массив, характеризующий вероятности $P_k(x, y, w)$ обнаружения объекта заданной активной ГА системой. На рис. 1 приведен вид одного из таких массивов для фиксированного значения энергии излучения w_0 .

Задача оптимального управления охранной системой в целом [1] с учетом уравнения изменения фазовых координат

$$X(t_i) = g[X(t_{i-1}), u(t_i), t_i], \quad t_i \in [0, T], \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

и условиями

$$u(t_i) = \{S_i, R_i\}, \quad S \subset \Omega_S, \quad R \subset \Omega_R, \quad i = 0, \dots, N \quad (2)$$

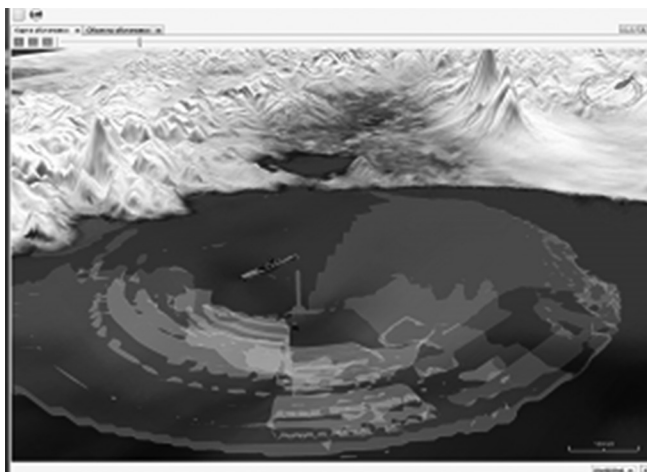


Рис. 1. Авачинская бухта

формулируется как задача пошагового выбора допустимого управления

$$u(t_1), u(t_2), \dots, u(t_N), \quad (3)$$

которое обеспечивает значение показателя эффективности решения задачи не менее заданного порогового значения:

$$\max_k \{P_k(X, t)\} > P_{кр} \quad (4)$$

Пример

Пусть в полистатической системе имеется единственный излучатель ($K=1$) с фиксированной мощностью излучаемого сигнала $w = w_0$. Функция $P(x, y, w_0)$ задана своими линиями уровня, распределение $f_0(x, y, t)$ задано в виде семейства двумерных нормальных плотностей с параметрами $a(t), \Sigma(t)$, зависящими от времени t . Независимое априорное распределение $\phi(x, y, t)$ также нормально с известными математическим ожиданием a_0 и ковариационной матрицей Σ_0 (рис. 2).

В данной постановке апостериорное распределение f_1 также нормально, а оценки его параметров можно получить по следующей схеме. В байесовской поста-

новке среднее апостериорного распределения находится из условия максимизации совместной функции правдоподобия

$$L(A) = f(x, y, t)\phi(x, y, t) \rightarrow \max_A .$$

Для нормальных распределений это эквивалентно минимизации суммы двух квадратичных форм:

$$(A - a)^T \Sigma^{-1} (A - a) + (A - a_0)^T \Sigma_0^{-1} (A - a_0) \rightarrow \min_A ,$$

что приводит к следующей оценке апостериорного среднего \hat{A} :

$$\hat{A} = (\Sigma^{-1} + \Sigma_0^{-1})^{-1} (\Sigma^{-1} a + \Sigma_0^{-1} a_0) \in N((\Sigma^{-1} + \Sigma_0^{-1})^{-1} (\Sigma^{-1} a + \Sigma_0^{-1} a_0), (\Sigma^{-1} + \Sigma_0^{-1})^{-1}).$$

На рис. 3 приведен график функции $P(w_0, t)$ и критический уровень вероятности обнаружения $P_{кр}$. Решение принимается на основе полиномиального калмановского прогноза траектории объекта и характеристик точности этого прогноза.

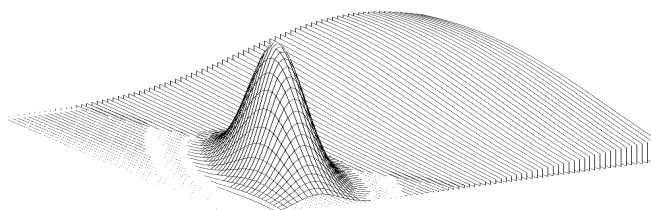


Рис. 2. Плотность распределения оценки координат и априорная плотность

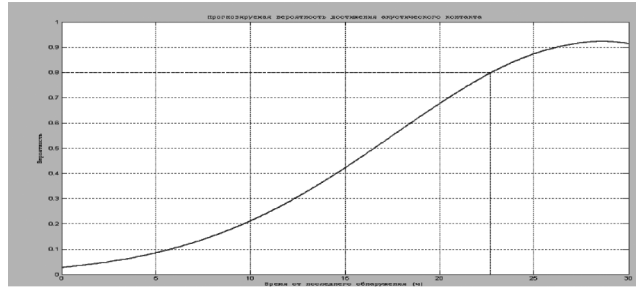


Рис. 3. Изменение прогнозируемой вероятности достижения контакта

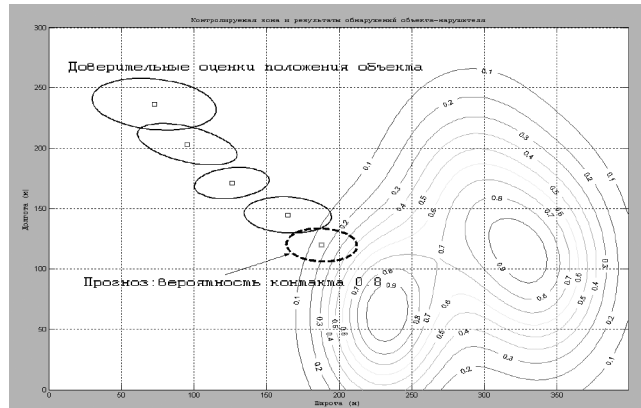


Рис. 4. Контролируемая зона и результаты прогноза местоположения нарушителя

Восстанавливая по полученным прогнозным значениям апостериорную плотность прогнозируемого положения объекта, вычисляем для нескольких значений τ вероятности достижения контакта при включении активной системы в момент $t_n + \tau$. Кривая на рис. 3 получается как сплайн-интерполяция этих прогнозных значений. Момент включения активной системы определяется как момент пересечения полученной кривой критического уровня. В этом случае выполняется неравенство:

$$P(w_0, t) > P_{кр} \quad (5)$$

На рис. 4 приведены линии уровня функции $P(x, y, w_0, t_0)$ для заданного момента времени t_0 и семейство эллипсов рассеяния для апостериорной плотности $f_1(x, y, t_0)$. Кривая $P = P(\tau)$ не доходит до значения $P = 1$ – это значит, что объект-нарушитель, согласно полученному прогнозу, не проходит через точку наибольшей эффективности активной акустической системы. Как видно, например, из рис. 1, в реальных условиях семейство $P_k(x, y, w)$ имеет значительно более сложный вид и задается на дискретном наборе точек (x, y) , поэтому интегралы приходится аппроксимировать соответствующими двойными суммами.

Выводы

Слияние данных – это организованное комбинирование данных разного типа и из различных источников в интересах анализа и принятия решения [2]. В работе описан успешно работающий алгоритм слияния информации от различных источников в интересах обработки данных, получаемых на новом аппаратно-программном комплексе ПАК СГАР [3].

Литература

1. Ермолаев, В.И. Использование возможностей ИГИС при управлении полистатическими средствами обнаружения для охраны объектов морской экономической деятельности / В.И. Ермолаев, С.В. Козловский, А.В. Макшанов // Морской вестник. – 2011. – № 4 (40). – С. 105–110.
2. Иванова, И.А. Иерархия классов при реализации расчетов интенсивности звукового поля в геоинформационных системах / И.А. Иванова, Ю.Б. Леонтьев // Труды международного семинара IF&GIS. – СПб., 2005. – С.188–195.
3. Хилько, А.И. Согласованная со средой акустическая томография океана на основе использования геоинформационной системы с физическими моделями / А.И. Хилько // Труды международного семинара IF&GIS. – СПб., 2005. – С. 196–209.
4. Meditch J.S. Stochastic Optimal Linear Estimation and Control. – New York: McGraw Hill, 1969. – 384 p.