

УДК [656.61.052.1 : 527] : 517.977.5

Идентификация и оценка навигационной опасности при многошаговых наблюдениях

Г.Г. Холодов, В.И. Меньшиков

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

Аннотация. Решается задача последовательной совместной идентификации и оценки опасности для судна при выполнении многошаговых навигационных наблюдений, что дает возможность как исключить проблемы, связанные с неполнотой априорной информации, так и определить момент остановки процесса наблюдений за текущей степенью опасности.

Abstract. The problem of consistent joint identification and assessment of risk to the vessel in the performance of multistep navigational observations has been considered. This allows to eliminate the problems associated with imperfect a priori information and to find the stopping time of observations of the current degree of risk.

Ключевые слова: опасность, судно, навигационные наблюдения
Key words: danger, vessel, navigation observations

1. Введение

При обнаружении сигналов в мультимедийном информационном пространстве ходового мостика судна судоводители обычно интересуются не только фактом их наличия, но и величинами информативных параметров, несущими данные об опасности, которая содержится в таких сигналах. Результат действий судоводителя, совершаемых им при наличии сигнала, определяется степенью близости оценки и истинного значения параметра. Ошибки при этом могут порождаться как неверной идентификацией сигнала, так и неточностью его оценивания. Если же использовать адаптивный байесовский подход к наблюдениям, то можно решить задачу совместной идентификации и оценивания параметров сигнала при параметрической априорной неопределенности и ограничении сверху возможного числа контрольных наблюдений. Общее и доступное судоводителю число наблюдений в практических навигационных задачах идентификации опасности и оценки ее наиболее информативных параметров всегда ограничено.

В практической навигации достаточно часто возникает задача совместной идентификации опасности и оценивания одного или нескольких информационных параметров этой опасности, которая решается при фиксированном времени наблюдения и полной априорной информации. Однако в морской навигации существуют дополнительные условия, при которых подобная задача требует несколько иного подхода, чем задачи, рассматриваемые применительно к другим видам транспорта. Во-первых, в морской навигации законы распределения вероятностей наблюдаемых случайных процессов, ненаблюдаемых ситуаций и параметров в большинстве случаев известны не полностью, а в лучшем случае – с точностью до параметров сопутствующих шумов. Во-вторых, процессы наблюдения часто являются многошаговыми, причем вероятность риска и соответствующие потери при принятии решения судоводителем зависят от номера шага, на котором наблюдение прекращено. Именно в этих специфических условиях и возникает задача последовательного (усеченного) обнаружения-оценивания опасных сигналов, поступающих к судоводителю из мультимедийного пространства ходового мостика. Эта задача решается ниже.

2. Общая постановка задачи идентификации-оценки навигационной опасности

Предположим, что наблюдается последовательность случайных независимых величин x_n , $n = 1, \dots, N$, где N – максимально доступное число наблюдений сигналов из мультимедийного пространства ходового мостика, которая представляет собой либо аддитивную смесь сигнала с шумом $x = x(t) + \eta(t)$ – опасная ситуация, либо только шум $x = \eta(t)$ – неопасная ситуация. Такую последовательность наблюдений можно представить с помощью следующей индикаторной функции:

$$f(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{при } x = x(t) + \eta(t); \\ 0 & \text{при } x = \eta(t). \end{cases}$$

Пусть по наблюдениям $x = (x_1, \dots, x_n)$ на некотором шаге n необходимо принять (окончательное) решение о наличии или отсутствии сигнала, причем в случае $\theta = 1$ необходимо также произвести оценивание неизвестного информативного параметра $\lambda \in \Omega$ (в общем случае векторного),

закодированного в сигнале и несущего информацию о вероятности опасности и ее последствиях. При последовательном анализе поступающей последовательности сигналов момент принятия окончательного решения является случайной величиной, так как на каждом шаге наблюдения $1 \leq n \leq N$ допускается принятие решения $u_n = u_{\approx}$ о продолжении наблюдения за навигационным объектом.

Далее будем полагать, что априорные вероятности ситуаций θ могут быть записаны как $p(\theta=i) = P_i$ при $(i = 0,1)$, а априорная плотность вероятности параметра λ в виде $p(\lambda)$ известна полностью. Условные плотности вероятности наблюдений $p(x_n | \theta = 0, \gamma_0) = p_0(x_n | \gamma_0)$ $p(x_n | \theta = 1, \lambda, \gamma_1) = p_1(x_n | \lambda, \gamma_1)$ известны с точностью до совокупности мешающих векторных параметров γ_0 и γ_1 , которые, возможно, содержат и одинаковые компоненты.

Введем потери, связанные с принятием окончательных решений $u_n = 0, u_{\approx} = \{1, \lambda^*_n\}$ на n -м шаге

$$\|g_{ij}(n)\| = \left\| \begin{array}{cc} g_{i0j}(n) & g_{i1j}(n) \\ g_{i10}(n) & g_{i11}(\lambda, \lambda^*, n) \end{array} \right\| \quad (i, j = 0, 1) \quad (1)$$

включающие в себя стоимость n шагов эксперимента $c(n)$; причем потери, имеющие место при принятии решения $u_n = \{1, \lambda^*_n\}$ о наличии сигнала с оцениванием его параметра (λ^*_n – некоторая оценка λ) в ситуации $\theta = 1$, когда он действительно есть, зависят от точности оценивания параметра λ ($u_n=0$ – решение об отсутствии сигнала).

Предпримем попытку найти решающее правило идентификации-обработки навигационной информации, минимизирующее среднее значение потерь (1). Однако при отсутствии информации о параметрах $\gamma = (\gamma_0, \gamma_1)$ распределений наблюдаемых данных средний риск не может быть определен. Для исключения неопределенности применим адаптивный Байесов подход (Репин, Тартаковский, 1977), заменив неизвестные параметры γ_i оценками максимального правдоподобия γ_{in}^* , которые определяются из уравнений:

$$\begin{aligned} p_1(x_n | \lambda^*_n \gamma^*_{1n}) &= \sup_{\gamma_1} p_1(x_n | \lambda^*_n, \gamma_1), \\ p_0(x_n | \gamma^*_{0n}) &= \sup_{\gamma_0} p_0(x_n | \gamma_0). \end{aligned} \quad (2)$$

Для нахождения решения воспользуемся функцией наименьшего апостериорного риска $\langle R^*_n(x_n, \gamma) \rangle$, получаемой в результате осуществления последовательности минимизаций по решениям u_{n+1}, \dots, u_N и усреднений по наблюдениям x_{n+1}, \dots, x_N величин апостериорных рисков и удовлетворяющей следующей системе уравнений динамического программирования (Хазен, 1968):

$$\begin{aligned} \langle R^*_n(x_n, \gamma) \rangle &= \min \{R^0_n(x_n, \gamma), \langle R'_n(x_n, \gamma) \rangle\}, \quad n = 1, N-1, \\ \langle R^*_N(x_N, \gamma) \rangle &= R^0_N(x_N, \gamma), \end{aligned} \quad (3)$$

$$R^0_n(x_n, \gamma) = \inf_{u \in U} R_n(u_n, x_n, \gamma), \quad (4)$$

$$R'_n(x_n, \gamma) = \int_{X_{n+1}} \langle R^*_{n+1}(x_{n+1}, \gamma) \rangle p(x_{n+1} | x_n, \gamma) dx_{n+1}. \quad (5)$$

В уравнениях (3-5) приняты следующие обозначения:

R^0_n и R'_n – наименьшие апостериорные риски в областях останки и продолжения наблюдений соответственно (при некотором γ);

U – множество окончательных решений;

$R_n(u_n, x_n, \gamma)$ – текущий апостериорный риск, равный апостериорному математическому ожиданию функции потерь;

$p(x_{n+1} | x_n, \gamma)$ – условная плотность вероятности для x_{n+1} при фиксированных значениях x_1, \dots, x_n и некоторой величине γ ;

X_{n+1} – множество значений величины x_{n+1} .

Для практического решения задачи идентификации-оценивания степени навигационной опасности с помощью организации многошаговых наблюдений данных из мультимедийного пространства ходового мостика судна следует лишь неизвестные параметры γ_i в уравнениях (3-5) заменить оценками максимального правдоподобия, получаемыми из выражений (2). Тогда для достаточно больших значений n , приняв $\gamma_{n+1} \approx \gamma_{n+2} \approx \dots \approx \gamma_N$, можно существенно упростить нахождение момента останки процесса наблюдений за текущей опасностью. Для отыскания такого момента и принятия решения относительно степени опасности достаточно сравнить выражение (4) с выражением (5), подставив в них оценки максимального правдоподобия параметра γ .

3. Заключение

При обнаружении в неоднородном информационном пространстве ходового мостика судна сообщения о навигационной опасности судоводитель в процессе управления состоянием безопасности мореплавания всегда должен руководствоваться не только фактом и степенью самой опасности, но и параметрами, несущими сведения об этой опасности.

В судовождении процесс контроля степени опасности и оценивание ее информационных параметров осуществляются, как правило, при фиксированном времени наблюдений и в условиях неполной априорной информации.

Организация многошаговых наблюдений и совместное решение задач идентификации степени опасности и оценивания ее параметров с использованием метода максимального правдоподобия способны исключить проблемы, связанные как с не полнотой априорной информации, так и нахождением момента остановки процесса наблюдений за текущей степенью опасности.

Литература

- Репин В.Г., Тартаковский Г.Л.** Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. *М., Советское радио*, 432 с., 1977.
- Хазен Э.М.** Методы оптимальных статистических решений и задачи оптимального управления. *М., Советское радио*, 256 с., 1968.