

Воробей В.И., Носовский А.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ОБНАРУЖИТЕЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Исследована эффективность алгоритмов обучения обнаружению радиолокационного сигнала с точки зрения их сходимости. Получены значения времени сходимости в зависимости от вида закона изменения параметров обнаружителя

Ключевые слова: радиолокация, обнаружение сигнала, обучение.

Постановка проблемы. Динамика стохастических систем с обратной связью характеризуется устойчивостью этих систем. Сходимость алгоритмов обучения или, что то же самое, устойчивость стохастических систем с обратной связью характеризует динамику обучающейся системы [1].

В связи с этим в настоящей статье проводится исследование эффективности полученных в [2] алгоритмов обучения с точки зрения их сходимости; чем выше скорость сходимости алгоритма, тем быстрее будет обнаружен сигнал в помехах от моря. Проблема состоит в необходимости оценки динамики обучающегося обнаружителя в стробе автосопровождения в случае, когда вместо дополнительных указаний учителя, оператора САПП, обучающая выборка поступает от автообнаружителя радиолокационных сигналов (кольцевого, секторного ...).

Анализ исследований, приведенных в [1,3-8], показал, что наиболее близким к решению проблемы можно принять методику оценки динамики, приведенную в [1,8] для представляющих практический интерес исследований обучающегося обнаружителя при показательном и степенном законах скорости сходимости алгоритмов обучения.

Цель данной статьи – получение численных характеристик динамики обучающегося обнаружителя (в зависимости от вида закона изменения его параметров) радиолокационного сигнала в стробе автосопровождения в средствах автоматической радиолокационной прокладки (САПП).

Основной материал. Обучение модели при исследовании динамики проводилось по алгоритмам (1), (2) и указаниям учителя (3) [2].

$$C_g[n] = U(n, n-1, C_g[n-1]) + \gamma_g[n] \omega_{21} \left(\left(F_1 \left\{ \vec{Q} \left[\vec{X}[n], U(n, n-1, C_g[n-1]) \right] \right\} - 1 \right) \right), \quad (1)$$

если $\vec{S}_g \neq 0$;

$$C_g[n] = U(n, n-1, C_g[n-1]) + \gamma_g[n] \omega_{12} F_1 \left\{ \vec{Q} \left[\vec{X}[n], U(n, n-1, C_g[n-1]) \right] \right\}, \quad (2)$$

если $\vec{S}_g = 0$,

где C_g - управляющее воздействие, изменяющее коэффициент усиления радиолокационного приемника в стробе,

$$U(n, n-1, C_g[n-1]) = C_g[n-1],$$

n – дискретное время ($n = 1$ – 1-й оборот антенны, $n = 2$ – 2-й оборот, ...),

γ_g – параметр обнаружителя, изменяющийся по заданному закону в зависимости от дискретного времени n и определяющий скорость сходимости алгоритма обучения,

ω_{12} и ω_{21} – стоимости ошибок первого и второго рода,

$$\omega_{12} = \omega_{21} = 1.$$

$$g=1,$$

$$F_1\left\{\vec{Q}[\cdot]\right\} = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{X} \in X_1^0, \\ 0, & \text{если } \vec{X} \in X_1^0, \end{cases}$$

\vec{X} – вектор входного сигнала,

X_1^0 – класс, характеризующий образ полезного сигнала.

$$F_2\left(\vec{X}\right) = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{s} \neq 0, \\ 0, & \text{если } \vec{s} = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

где \vec{s} – вектор полезного сигнала.

Указания $F_2\left(\vec{X}\right)$ учителя поступают от секторного автообнаружителя радиолокационных

сигналов, реализующего критерий логического обнаружения с фиксацией границ пачки «3/5 – 2» [9].

В процессе исследования определялись средние значения оптимальных управляющих воздействий C^* и времени сходимости алгоритма n_{cp} по формулам

$$C_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N c_j^* \quad \text{и} \quad n_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N n_j$$

при $N=100$.

Обнаружение при степенном и показательном законах, определяющих скорость сходимости алгоритма обучения.

Скорость сходимости итеративных алгоритмов соответствует степенному закону, если значения $\gamma[n]$ определяются выражением [1]

$$\gamma[n] = \frac{\Psi}{1+n} \quad (4)$$

Минимальное время сходимости, соответствующее времени выработки управляющего воздействия C^* , очевидно, будет зависеть от начального значения коэффициента усиления Ψ цепи обратной связи. На рис.1 (сплошные линии) дана полученная в результате исследования зависимость среднего времени сходимости от начального значения коэффициента усиления Ψ для различных отношений сигнал-помеха a_{oc} при действии на входе приемника помехи с релеевским законом распределения амплитуд [10] и $\sigma_n = 5 \cdot 10^{-6}$ (10 дБ). Из графика видно, что наилучшими будут те алгоритмы, у которых значение Ψ изменяется в пределах от 0,5 до 1,0.

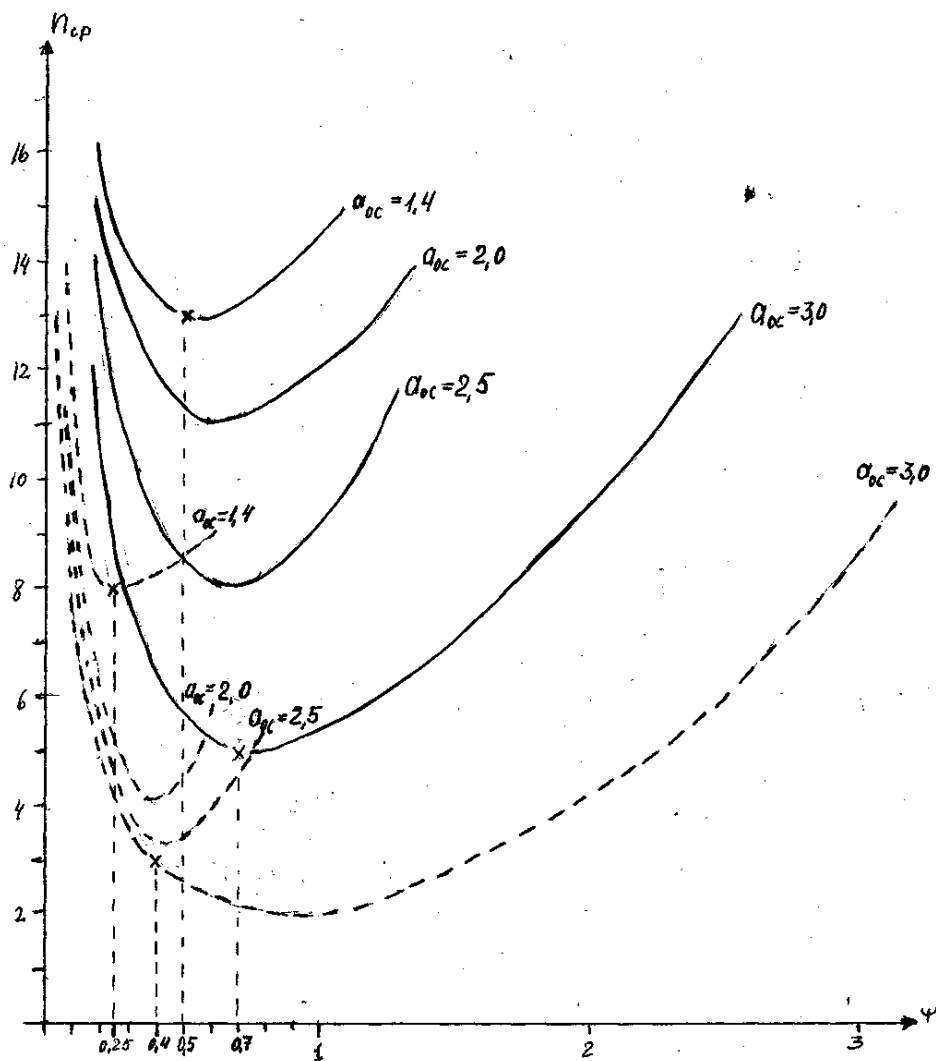


Рис. 1. Зависимость времени сходимости n_{cp} от начального значения коэффициента усиления цепи обратной связи обнаружителя

Как правило, в САПР автосопровождение объекта начинается на дальности, где отношение сигнал-помеха больше единицы. Если выбрать значение Ψ равным 0,5 – 0,7, то при a_{oc} , лежащем в пределах

$$1,4 \leq a_{oc} \leq 3,$$

время сходимости будет изменяться в пределах от 13 до 5, т.е.

$$5 \leq n_{oc} \leq 13,$$

что вполне приемлемо с практической точки зрения. Само же значение оптимального управляющего воздействия C^* будет находится в пределах

$$0,85 \geq C_{cp}^* \geq 0,6.$$

Алгоритмы обучения, в которых $\gamma[n]$ изменяется в соответствии с выражением (4), удовлетворяют условию сходимости почти-навсегда [7]. Если выбрать $\gamma[n] = \gamma_0 = \text{const}$, что

соответствует показательному закону скорости сходимости, то алгоритм не будет удовлетворять условию сходимости почти-наверное, однако с практической точки зрения это приемлемо [1]. В этом случае должно выполняться условие

$$\lim M_x [\| C[n] - C^* \|^2] \leq \mu(\gamma_0, \sigma_n),$$

причем $\mu(\gamma_0, \sigma_n) \rightarrow 0$ при $\sigma_n^2 \rightarrow 0$. Чем меньше значение γ_0 , тем меньше будет отличаться управляющее воздействие $C[n]$ от его оптимального значения C^* . Для САРП минимальное значение γ_0 определяется чувствительностью квантователя видеосигнала и равно $\gamma_0 \min = 0,06$.

Исследование системы при $\gamma_0 = 0,06$ показало, что при $a_{oc} = (1,4 - 3)$ и $\sigma_n = 5 \cdot 10^{-6}$ время сходимости равно $(15 - 17)n$, а при $\sigma_n = 10^{-6}$, что соответствует мощности помехи, не превышающей уровень шумов приемника, $n_{cp} = 4 - 7$, как для системы со степенным, так и для системы с показательным законами скорости сходимости алгоритма обучения.

Выводы. Таким образом, время сходимости при степенном законе, определяющем скорость сходимости, зависит от начального значения коэффициента усиления цепи обратной связи. Минимальное время при мощности помехи 10 дБ равно 5 – 13 оборотам антенны и соответствует значениям коэффициента усиления цепи обратной связи, лежащим в пределах от 0,5 до 0,7 при показательном законе скорости сходимости алгоритма обучения и минимальном значении γ_0 , равном 0,06, время сходимости к тому же оптимальному значению C^* , что и для системы со степенным законом, равно 15 – 17 оборотам антенны. Если мощность помехи не превышает уровень шумов приемника, то время сходимости как для системы со степенным, так и для системы с показательным законами равно 4 – 7 оборотам антенны.

На рис. 1 пунктирными линиями показаны приведенные в [8] результаты исследования обучающегося обнаружителя, принимающего указания учителя от оператора САРП. Сравнение этих характеристик показывает более уверенное, более быстрое обнаружение сигнала в строке автосопровождения в случае поступления обучающей выборки от вахтенного помощника капитана. Это можно объяснить тем, что вахтенный помощник видит, что на экране САРП в данных координатах есть полезный сигнал. Он посылает в обучающую систему указания в том случае, если на экране четко, пусть и не на каждом обороте антенны, отбивается отметка от цели. В то же время автообнаружителю секторному, реализующему критерий «3/5 – 2», свойственны ошибки первого и второго рода с соответствующими вероятностями, которые, очевидно, превышают ошибки оператора. Время сходимости алгоритма, что то же самое, что время обнаружения цели в строке автосопровождения, в случае обучения от автообнаружителя в 1,5-2 раза больше, чем при обучении от оператора. Но эти издержки, по сути, окупаются тем, что вахтенный помощник капитана не «привязан» к экрану САРП и может больше уделять внимания решению других задач на навигационном мостике.

В перспективе целесообразно проведение исследований динамики обнаружителя с целью уменьшения времени обнаружения радиолокационных целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
2. Воробей В.И. Обучающийся обнаружитель радиолокационного сигнала при отсутствии дополнительных указаний учителя. Водный транспорт. Зб. Наук. праць Київської державної академії водного транспорту. – К.: КДАВТ, 2014. – №3(21) – с. 45-50.
3. Лапко А.В. Обучающиеся системы обработки информации и принятия решений (непараметрический подход) / Лапко А.В., Крохов С.И., Фельдман Л.Н. // Новосибирск: Наука,

1996. 296 с.

4. Крысилов В.А. Предварительная оценка качества обучающей выборки для нейронных сетей в задачах прогнозирования временных рядов / Крысилов В.А., Тарасенко Р.А. // Тр. Одесского политехн. ун-та. – 2001. – вып. 1. – с. 90-93.
5. Haykin S. Adaptive Radar Signal Processing/ Simon Haykin. – John Wiley & Sons Inc., 2006.
6. Волченко Е.В., Кузьменко И.Ю. Анализ методов нахождения выбросов в обучающих выборках. Тезисы 11-й междунар. Научно-техн. конф. «Проблемы информатики и моделирования / НТК «ХПП», 2011.
7. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
8. Воробей В.И. Исследование обучающейся системы распознавания сигнала в помехах от моря / Воробей В.И., Михайлова Т.П. // Сб. Применение ЦВМ для автоматизации транспортных судов. – К.: НИИ Квант, 1983. – с. 25-26.
9. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: «Сов. радио», 1974, 432 с.
10. Воробей В.И. Моделирование процесса на входе приемника радиолокационных сигналов. Водный транспорт. Зб. Наук. праць Київської державної академії водного транспорту. – К.: КДАВТ, 2013. – №3(18) – с. 21-26.

Воробей В.І., Носовський А.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВИЯВЛЯЧА РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ, ЩО МАЄ ЗДАТНІСТЬ НАВЧАТИСЯ

Досліджена ефективність алгоритмів навчання виявленню радіолокаційного сигналу з точки зору їх збіжності. Отримані значення часу збіжності в залежності від виду закону змінювання параметрів виявляча сигналів.

Ключові слова: радіолокація, виявлення сигналу, навчання.

Vorobei V., Nosovskyi A.

INVESTIGATION OF LEARNING ALGORITHMS CONVERGENCE OF RADAR SIGNAL DETECTION

The efficiency of the learning algorithms of radar signal detection from point of view of their convergence is investigated. The values of the convergence time depending on the variation law of signal detector parameters are obtained.

Keywords: radar, detection, learning.

УДК 656.61:681.5

Масик И.П., Коломиец Д.П.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДНА

В качестве основного подхода для определения безопасности, надежности и качества эксплуатации судна предложен ситуационный подход. Рассмотрена модель множества ситуаций, связанных с безопасностью, надежностью и качеством принимаемых решений при эксплуатации судна. Определен треугольник нарушений и их последствий, наглядно демонстрирующий взаимосвязь и иерархию факторов возможных рисков в процессе эксплуатации судна. Определен механизм безопасного состояния судна через вероятность обнаружения и вероятность наступления прогнозируемых угроз.