

Воробей В.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ОБНАРУЖИТЕЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОМЕХ

Исследована эффективность алгоритма обучения обнаружению сигнала с точки зрения его ускоренной сходимости. Получены значения времени сходимости в зависимости от вида закона распределения помехи

Ключевые слова: радиолокация, обнаружение сигнала, обучение.

Постановка проблемы. Динамика стохастических систем с обратной связью характеризуется устойчивостью этих систем. Сходимость алгоритмов обучения или характеризует динамику обучающейся системы [1].

Исследование эффективности полученных в [2] алгоритмов обучения с точки зрения их сходимости (чем выше скорость сходимости, тем быстрее будет обнаружен сигнал в помехах) показало [3], что при мощности помехи, равной 10 дБ, и степенном или показательном законах скорости сходимости ($\gamma_{[n]} = \frac{\psi}{1+n}$ или $\gamma_{[n]} = \gamma_0 = \text{const}$ соответственно) время сходимости лежит в пределах от 5 до 17 оборотов антенны навигационной радиолокационной станции кругового обзора. **Проблема** состоит в том, что, как показали исследования, проведенные в рамках данной работы, при мощности помехи, лежащей в пределах от 10 дБ до 50 дБ, время сходимости алгоритма обучения, например, при показательном законе скорости, может достигать 70 оборотов антенны. Кроме того, существует проблема выбора начального значения ψ переменного коэффициента передачи $\gamma_{[n]}$ цепи обратной связи обучающейся системы [3]. Поэтому **задача** заключается в том, чтобы уменьшить время сходимости алгоритма [3] в случае, когда мощность помехи достигает 50 дБ.

Анализ исследований, приведенных в [1 - 9], показал, что для решения проблемы можно воспользоваться алгоритмами ускоренной сходимости [1], [13], [14]. В таких алгоритмах с начала обучения переменный коэффициент $\gamma_0 = \text{const}$, а когда знак разности управляющего воздействия ΔC_{n-1} начинает меняться, $\gamma_{[n]}$ становится переменным. Это объясняется тем, что вдали от оптимальных значений (в начале обучения) разность ΔC_{n-1} имеет постоянный знак, а вблизи оптимальных значений знак становится переменным.

Цель данной статьи – получение численных характеристик динамики обучающегося обнаружителя радиолокационного сигнала в стробе автоматического сопровождения объекта в средствах автоматической радиолокационной прокладки при воздействии различных помех в случае, когда обучающая выборка в алгоритме ускоренной сходимости поступает не от оператора (вахтенного помощника капитана), а от, например, кольцевого или секторного автоматических обнаружителей [3].

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 $\vec{S}_g \neq 0$;

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

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,

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

$g=1$,

$$F_1 \left\{ \vec{Q}[\cdot] \right\} = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{X} \in X_1^0 \\ 0, & \text{если } \vec{X} \in X_1^0 \end{cases} \quad (3)$$

\vec{X} – вектор входного сигнала,

X_1^0 – класс, характеризующий образ полезного сигнала.

$$F_2 \left(\vec{X} \right) = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{s} \neq 0 \\ 0, & \text{если } \vec{s} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

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» [10].

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 $N=100$.

В таблицах 1 – 4 приведены результаты исследования алгоритма (1), (2) при изменении параметра $\gamma[n]$, определяющего ускоренность сходимости, в соответствии с выражением (5)

$$\gamma[n] = \frac{\Psi}{1 + \sum_{m=1}^n \text{sgn}(\Delta C_{[m-]2} \Delta C_{[m-1]})} \quad (5)$$

где $\text{sgn} Z = \begin{cases} 1, & \text{если } Z < 0 \\ 0, & \text{если } Z \geq 0 \end{cases}$.

Таблица 1

Нормальный закон

a_{oc}	1	1,4	2	2,5
\bar{c}^*	1,947	1,948	1,95	1,95
\bar{n}	12	11	9	9

Таблица 2

Закон Релея

a_{oc}	1	1,4	2	2,5
\bar{c}^*	1,948	1,948	1,95	1,95
\bar{n}	13	12	9	9

Таблица 3

Коррелированный закон Релея

a_{oc}	1	1,4	2	2,5
\bar{c}^*	1,95	1,95	1,95	1,955
\bar{n}	13	12	10	10

Таблица 4

Закон Райса

$a_{oc}=2,0$			
a_{on}	1	1,4	2
\bar{c}^*	1,98	1,98	1,98
\bar{n}	15	14	13

В таблицах приняты следующие обозначения:

a_{oc} – отношение сигнал-помеха,

a_{on} – отношение квазидетерминированной составляющей к случайной составляющей в законе распределения помехи по Райсу,

\bar{c}^*

– среднее значение оптимальных управляющих воздействий,

\bar{n}

– среднее значение времени сходимости алгоритма.

Результаты приведены для помехи мощностью 50 дБ и амплитудные значения которой распределены по законам: нормальному (Табл.1), Релея (Табл.2), Релея с заданной функцией корреляции по пеленгу (Табл.3). Результаты исследования при воздействии помехи, распределенной по закону Райса (помехи от морского волнения) с различным значением a_{on} и фиксированным отношением сигнал-помеха ($a_{oc}=2$) сведены в таблицу 4.

Из таблиц видно, что увеличение отношения сигнал-помеха существенно не влияет на управляющее воздействие в пределах данного закона распределения. Время сходимости алгоритма уменьшается наиболее значительно (почти на 30 %) при увеличении отношения сигнал-помеха. В общем случае время сходимости лежит в пределах от 9 до 15 оборотов антенны и незначительно отличается (увеличивается на два оборота) от данных, приведенных в [9], когда обучающая выборка поступает от оператора радиолокационной станции.

Таким образом, изменяя параметр $\gamma^{[n]}$ в соответствии правилом ускоренной сходимости (5), время обучения в помехах мощностью 50 дБ можно уменьшить с 70 до 15 оборотов антенны.

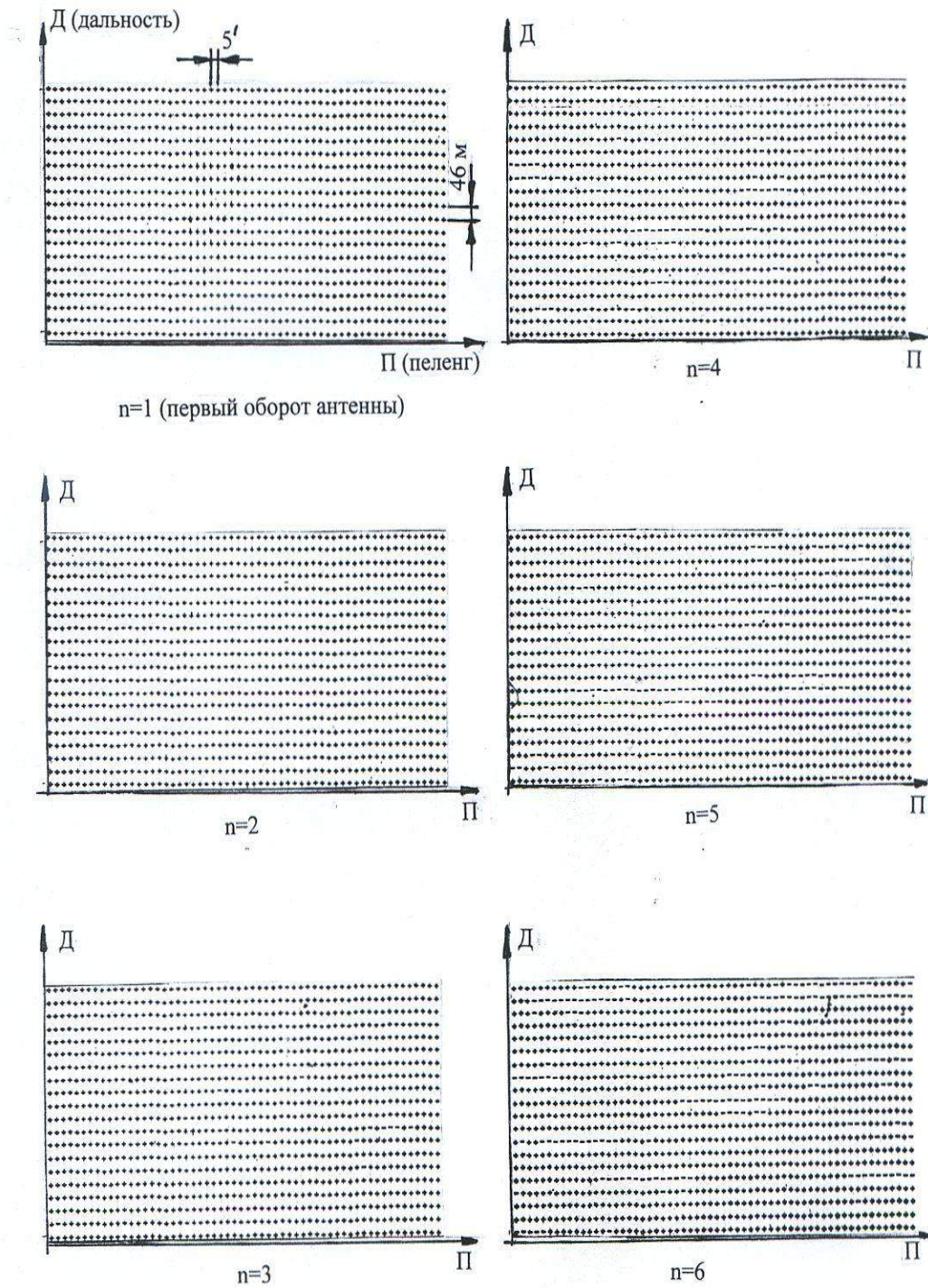
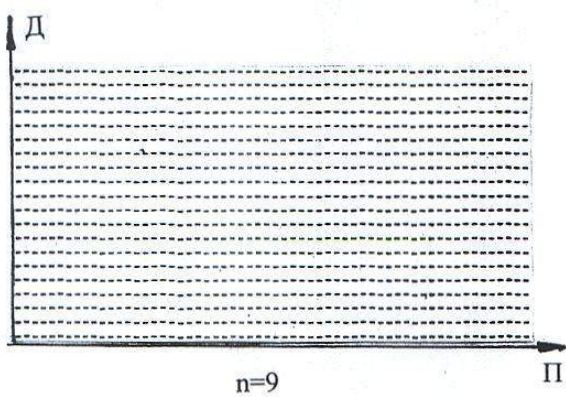
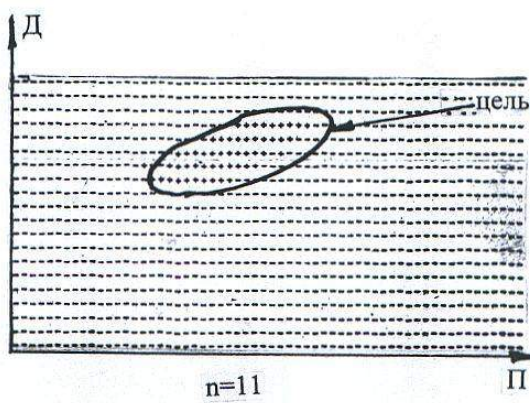
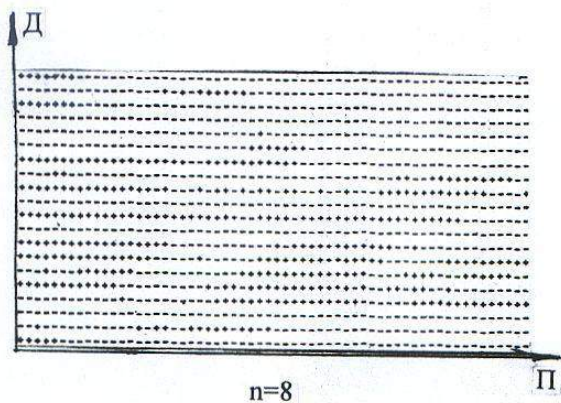
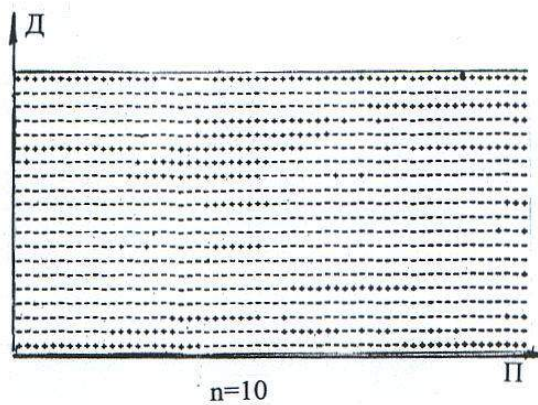
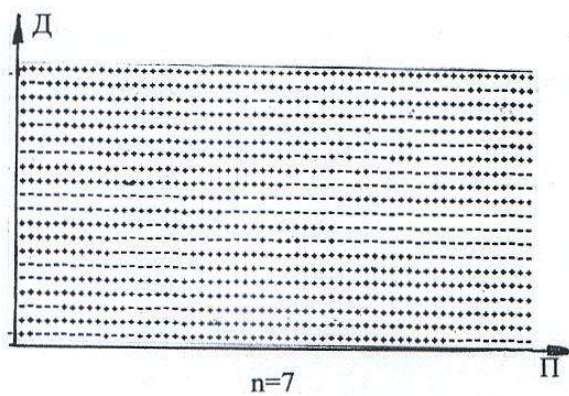


Рис. 1. Динамика обучения обнаружению сигнала на фоне помех



Окончание рис.1. Динамика обучения обнаружению сигнала на фоне помех

На рис.1 приведена динамика процесса обучения обнаружению сигнала на фоне коррелированных помех по алгоритму ускоренной сходимости (1), (2), полученная в результате распечатки содержимого строба автоматического сопровождения цели в моменты времени $n=1,2,\dots,11$. Размер строба составляет 20 дискретов по дальности и 60 – по пеленгу. Моделирование алгоритма обучения с ускоренной сходимостью осуществлялось при воздействии помехи, распределенной по закону Релея с заданной функцией корреляции [11].

Из рисунка видно, что на первом обороте антенны ($n=1$) каждый элемент строба отмечен знаком «+», что соответствует ситуации, когда входной сигнал (полезный или помеха) превысили порог квантования. Начиная со второго ($n=2$) и до восьмого ($n=8$) оборотов антенны число «превышений» уменьшается. На восьмом обороте наблюдается несколько «связных» зон [12], одна из которых принадлежит полезному сигналу. На девятом обороте антенны ($n=9$) управляющее воздействие $C_{[n]}$ (1),(2) приняло значение, при котором коэффициент усиления радиолокационного приемника, входящий в качестве элемента в функционал (3), уменьшился до того значения, при котором и полезный сигнал, и помеха оказались ниже порога квантования, и в стробе полностью отсутствует какая-либо информация: ни полезного сигнала, ни помехи (аналог понятия «перерегулирование» в теории автоматического управления). И, наконец, на одиннадцатом обороте ($n=11$) управляющее воздействие $C_{[n]}$ принимает свое оптимальное C^* значение, при котором в стробе остается только цель. Все время обнаружения объекта (время сходимости алгоритма обучения) составило 11 оборотов антенны.

Выводы. Таким образом:

1. Получены численные характеристики динамики предложенного алгоритма обучения обнаружению радиолокационного сигнала в стробе автоматического сопровождения цели в средствах автоматической радиолокационной прокладки при воздействии различных помех для случая, когда обучающая выборка поступает от кольцевого или секторного автоматического обнаружителей.

2. Предложенный алгоритм обучения с ускоренной сходимостью позволяет обнаружить полезный сигнал в помехах мощностью до 50 дБ, уменьшив время обнаружения с 70 до 9 – 15 оборотов антенны, что, учитывая сравнительно небольшие относительные скорости перемещения торговых судов (дл 50 узлов), приемлемо с практической точки зрения. Однако, в судовождении встречаются ситуации, когда цель на экране радара неожиданно появляется на малой дистанции и необходимо как можно быстрее определить степень ее опасности. Поэтому **в дальнейшем** целесообразно исследовать возможность уменьшения времени обнаружения (времени сходимости алгоритма обучения) до минимальных значений.

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. Воробей В. И. Исследование динамики обучающегося обнаружителя радиолокационных сигналов/ Воробей В. И., Носовский А. Н.// Водный транспорт. Зб. Наук. праць Київської державної академії водного транспорту. – К.: КДАВТ, 2015. – №1(22). – С. 14-17.
4. 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.
5. 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.
6. Haykin S. Adaptive Radar Signal Processing/ Simon Haykin. – Johnwiley & Sons Inc., 2006.
7. 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 «ХП», 2011.

-
8. Цыпкин Я. З. Основы теории обучающихся систем. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
 9. 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.
 10. Кузьмин С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: «Сов. радио», 1974, 432 с.
 11. 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.
 12. Яловенко В. Я. Судовые средства автоматизации предупреждения столкновений судов/ Зурабов Ю. Г., Черняев Р. Н., Якушевич Е. В., Яловенко В. Я // М.: Транспорт, 264 с. – («Б-чка судоводителя»)
 13. Wegstein J. H. Accelerating convergence of iterative processes. Communications of the ACM, 1958.v. 1, No. 6.
 14. Kesten H. Accelerated stochastic approximation. Annals of Mathematical Statistics, 1958.v. 29, No. 1.

Воробей В.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ НАВЧАЮЧОГОСЯ ВИЯВЛЯЧА РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ В УМОВАХ ВПЛИВУ РІЗНОМАНІТНИХ ЗАВАД

Досліджено ефективність алгоритмів навчання виявленню радіолокаційного сигналу з точки зору їх прискореної збіжності. Отримано значення часу збіжності в залежності від виду закону розподілення завад.

Ключові слова: радіолокація, виявлення сигналу, навчання.

Vorobei V.

INVESTIGATION OF LEARNING ALGORITHMS CONVERGENCE OF RADAR SIGNAL DETECTION DEPENDING ON A CLUTTER DISTRIBUTION

The efficiency of the learning algorithms of radar signal detection from point of view of their accelerating convergence is investigated. The values of the convergence time depending on a clutter distribution are obtained.

Keywords: radar, detection, learning.

УДК 621.577.4

Калиниченко И.В., Андреев А.А., Андреева Н.Б.

ПОЛУЧЕНИЕ ПАРА НА СУДНЕ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Проанализированы возможные источники низкопотенциальной теплоты судового главного дизеля с целью ее утилизации теплонасосной паропроизводящей установкой. Проведен анализ возможности обеспечения водяным паром судовых потребителей на ходовом режиме судна при использовании теплонасосной паропроизводящей установки, утилизирующей низкопотенциальные вторичные тепловые ресурсы главного дизеля. Использование теплонасосной паропроизводящей установки в качестве альтернативного