

**Воробей В.И.**

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ВРЕМЕНИ ЕГО СУЩЕСТВОВАНИЯ

*Разработан и исследован алгоритм обучения обнаружению радиолокационного сигнала при ограниченной длительности входного процесса, позволяющий с помощью прогнозирования изменения управляющего воздействия в ускоренном масштабе времени минимизировать время обнаружения.*

**Ключевые слова:** радиолокация, обнаружение сигнала, обучение.

**Постановка проблемы.** Обнаружение объекта навигационной радиолокационной станцией (НРЛС) за 9-15 оборотов антенны [1] вполне приемлемо при сравнительно небольших скоростях встречных объектов (до 25 узлов). Проблема состоит в том, что, если относительная скорость достигает 50 узлов и более, то размер строба автосопровождения [2] при времени сходимости алгоритма обучения обнаружению цели, равном 9 оборотам антенны, составит по дальности 3000 м, при 15 оборотах – 6000 м. Такие размеры строба значительно снижают точность вычисления координат объекта. Поэтому целесообразно осуществлять обучение обнаружению в прежних размерах строба по дальности 600 м. Для этого время обучения (время сходимости алгоритма) в помехах большой мощности необходимо уменьшить по сравнению с алгоритмом ускоренной сходимости [1] до одного – двух оборотов антенны.

**Анализ исследований,** приведенных в [1 - 9], показал, что обнаружение объекта за один оборот антенны ( $n=1$ ) можно произвести, если воспользоваться возможностью анализа информации о сопровождаемых объектах для обнаружения новой цели [3], а именно, в качестве начального значения параметра  $C$  (управляющее воздействие) необходимо взять то, которое соответствует объекту, находящемуся на той же дальности и ближайшем пеленге, что и новая цель. Если в поле обзора НРЛС к текущему моменту времени нет автоматически сопровождаемых судов, по которым можно определить начальное значение управляющего воздействия  $C$ , то выработка оптимального значения параметра  $C$  становится вновь актуальной.

**Цель данной статьи** – разработка и исследование алгоритма обучения обнаружению радиолокационного сигнала, отраженного от объекта, за минимальное время.

**Основной материал.** Как показали результаты анализа проведенных исследований, для решения задачи целесообразно применить алгоритм обучения, изложенный в [4]:

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

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  $\vec{S}_g = 0$ ,

а также и метод построения обучающейся системы при ограниченной длительности входного процесса [5]. Если процесс на входе рассматривать как квазистационарный, то с помощью этого метода, применив анализ периодически повторяющихся данных, можно построить обучающуюся систему, работающую по алгоритму (1), (2) и позволяющую определить оптимальное значение управляющего воздействия  $C$  за минимальное время. Для этого

необходимо периодически в ускоренном масштабе дискретного времени  $k$ , т.е. прогнозируя, повторять процесс, соответствующий отражённому сигналу, уточняя в каждом периоде повторения значение параметра  $C$  по алгоритму (1), (2). Дискретность поступающей на вход приёмника НРЛС информации обусловлена интервалами времени, равными периоду вращения антенны. Повторяя периодически внутри интервала в ускоренном масштабе времени  $k$  ту информацию, которая пришла к началу данного интервала и уточняя в каждом периоде времени  $k$  значение  $C$ , после достаточного числа циклов повторения определим значение параметра  $\gamma_n$  в алгоритме (1), (2), близкое к тому, которое вырабатывается алгоритмом, обеспечивающим сходимость к оптимальному значению  $C$  при неограниченной длительности входного процесса.

На основании изложенного алгоритм обучения (1), (2) можно представить в форме

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

если  $\vec{S}_g \neq 0$ ;

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

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, ...),

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

$\omega_{12}$  и  $\omega_{21}$  – стоимости ошибок первого и второго рода,

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

$\vec{X}$  – вектор входного сигнала,

$X_1^0$  – класс, характеризующий образ полезного сигнала,

$\vec{S}$  – вектор полезного сигнала.

Указания учителя поступают от секторного автообнаружителя радиолокационных сигналов, реализующего критерий логического обнаружения с фиксацией границ пачки «3/5 – 2»» [6].

Исследование алгоритма (1), (2) проводилось при  $g = 1$  и  $\omega_{12} = \omega_{21} = 1$  методом имитационного моделирования процесса на входе усилителя промежуточной частоты радиолокационного приемника НРЛС [7] при релейском законе распределения амплитуд помехи.

Результаты моделирования показали, что алгоритм с прогнозированием дает незначительную ошибку определения за один оборот антенны оптимального управляющего воздействия  $C^*$ , равную 0,1 %. Критерий оптимальности (равенство вероятности ошибок первого и второго рода с соответствующими весами (стоимостями) выполняется для обоих алгоритмов (с прогнозированием и без прогнозирования) без существенных отличий. Максимальное приращение вероятности ложной тревоги, которое дает алгоритм с

---

---

прогнозированием, равно 0,08 при отношении сигнал/помеха равном 1,4. В результате цель была обнаружена в течение одного оборота антенны (3 сек.).

**Выводы.** Таким образом, предложенный алгоритм обучения обнаружению радиолокационного сигнала НРЛС при ограниченной длительности входного процесса позволяет с помощью прогнозирования изменения управляющего воздействия в ускоренном масштабе времени уменьшить время обнаружения цели до одного оборота антенны.

**В перспективе** целесообразно проведение исследований обучающегося алгоритма для более сложных по своей структуре объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воробей В. И. Исследование динамики обучающегося обнаружителя радиолокационных сигналов в условиях воздействия различных помех. Водный транспорт. Зб. Наук. праць Київської державної академії водного транспорту. – К.: КДАВТ, 2015. – №1(22). – с. 42-48.
2. Яловенко В. Я. Судовые средства автоматизации предупреждения столкновений судов/ Зурабов Ю. Г., Черняев Р. Н., Якушев Е. В., Яловенко В. Я.// М: Транспорт. – 264 с.
3. А.с. 758915 (СССР). Устройство для предупреждения столкновений судов/ А. А.Кошевой. - Заявл. 27.06.77, № 2499929/18; Опубл. 05.11.80. ДСП.
4. 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.
5. Цыпкин Я. З. Основы теории обучающихся систем. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
6. Кузьмин С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин – М.: Советское радио, 1974. – 432 с.
7. 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.
8. 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.
9. Haykin S. *Adaptive Radar Signal Processing*/ Simon Haykin. – John Wiley & Sons Inc. – 2006.

**Воробей В.І.**

### **АВТОМАТИЧНЕ ВИЯВЛЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ ПРИ ОБМЕЖЕНОМУ ЧАСІ ЙОГО ІСНУВАННЯ**

*Досліджено алгоритм навчання виявленню радіолокаційного сигналу при обмеженій тривалості входного процесу. Алгоритм дозволяє за допомогою прогнозування зміни керуючого впливу в прискореному масштабі часу зменшити час виявлення.*

**Ключові слова:** радіолокація, виявлення сигналу, навчання.

**Vorobei V.I.**

### **RADAR SIGNAL AUTOMATIC DETECTION AT A LIMIT TIME OF ITS EXISTENCE**

*The learning algorithm to detect a radar signal is worked out and investigated at limit duration of entrance process. The algorithm gives an opportunity to reduce a time detection of a target by means of control signal modification in a speed-up time scale factor.*

**Keywords:** radar, detection, learning.