

Воробей В.И.

ОБУЧАЮЩИЙСЯ ОБНАРУЖИТЕЛЬ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА ПРИ ОТСУТСТВИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УКАЗАНИЙ УЧИТЕЛЯ

Рассмотрены особенности обнаружения радиолокационного сигнала в стробе автосопровождения судна с точки зрения теории обучающихся систем. Получен алгоритм обучения обнаружению объекта при отсутствии указаний учителя.

Ключевые слова: радиолокация, обнаружение сигнала, обучение.

Постановка проблемы. Решение задачи обнаружения сигнала в средствах автоматической прокладки (САРП) осуществляется, в частности, на основе применения теории обучающихся систем [1]. Указания учителя в САРП – это указания оператора (вахтенного помощника капитана) о координатах встречного судна (координаты строба автоматического сопровождения судна), которые он вводит в аппаратуру с тем, чтобы автоматический обнаружитель самостоятельно по определенному критерию осуществил поиск в стробе и обнаружил объект. Проблема заключается в том, что вахтенный помощник в силу своих обязанностей не имеет возможности (особенно в зоне интенсивного судоходства) непрерывно находиться у экрана САРП и формировать соответствующие указания учителя. Поэтому для решения проблемы, очевидно, необходимо автоматизировать процесс формирования соответствующих указаний учителя.

Анализ последних исследований, приведенных в [2–8] показал, что наиболее близким к решению проблемы можно принять метод получения алгоритма обучения с указаниями учителя [1], [8], схема структурная общая которого приведена на рис. 1.

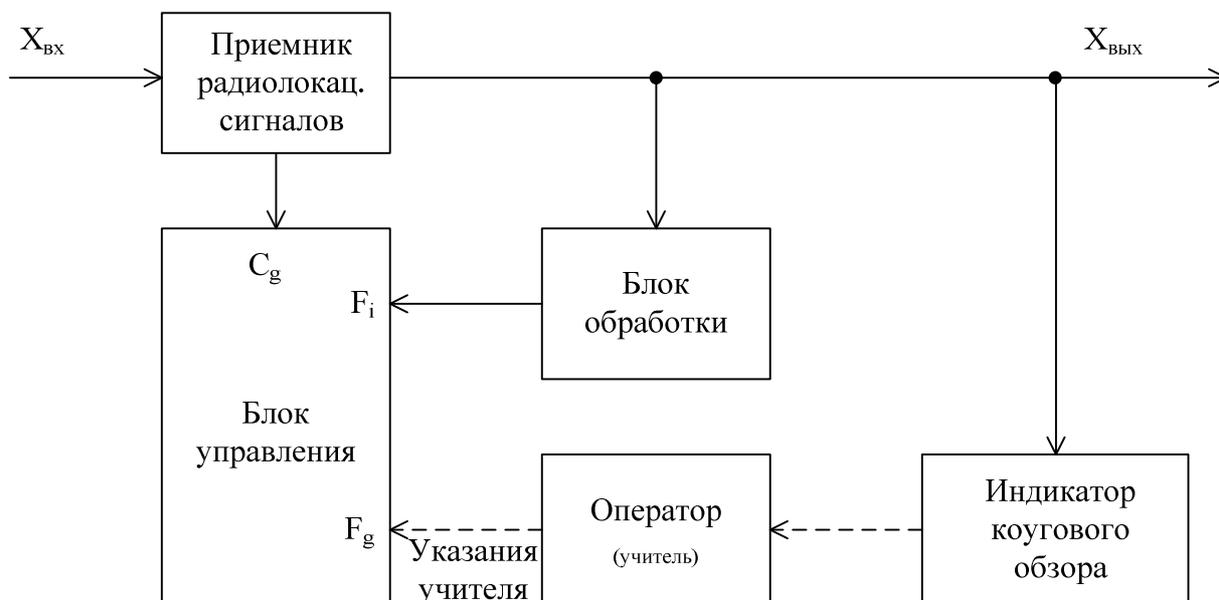


Рис. 1. Схема структурная общая с указаниями учителя от вахтенного помощника капитана

Анализ работы алгоритма показал **нерешенную часть проблемы**, заключающуюся в том, что указания учителя поступают от вахтенного помощника капитана.

Цель данной статьи – разработка алгоритма обучения обнаружению радиолокационного сигнала для случая, когда обучающая выборка от оператора отсутствует.

Основной материал. Перечень задач, решаемых САПП, наряду с автоматическим обнаружением сигнала в стробе автоматического сопровождения судна содержит, в частности, отдельную задачу автоматического обнаружения объектов, выполняемую, так называемым, автообнаружителем в заданном кольце (кольцах), секторе (секторах) поля обзора навигационной радиолокационной станции или, в целом, по всему полю обзора. При обнаружении цели автообнаружитель выдает звуковой и световой сигналы, привлекая внимание вахтенного помощника. Критерий обнаружения в этом случае может иметь простейший вид, например, логический критерий «l/m-k», фиксирующий границы пачки радиолокационных импульсов [9]. Однако этого достаточно для того, чтобы принять сигнал с выхода автообнаружителя в качестве указаний учителя, тем самым, автоматизировать процесс формирования этих указаний (рис. 2).

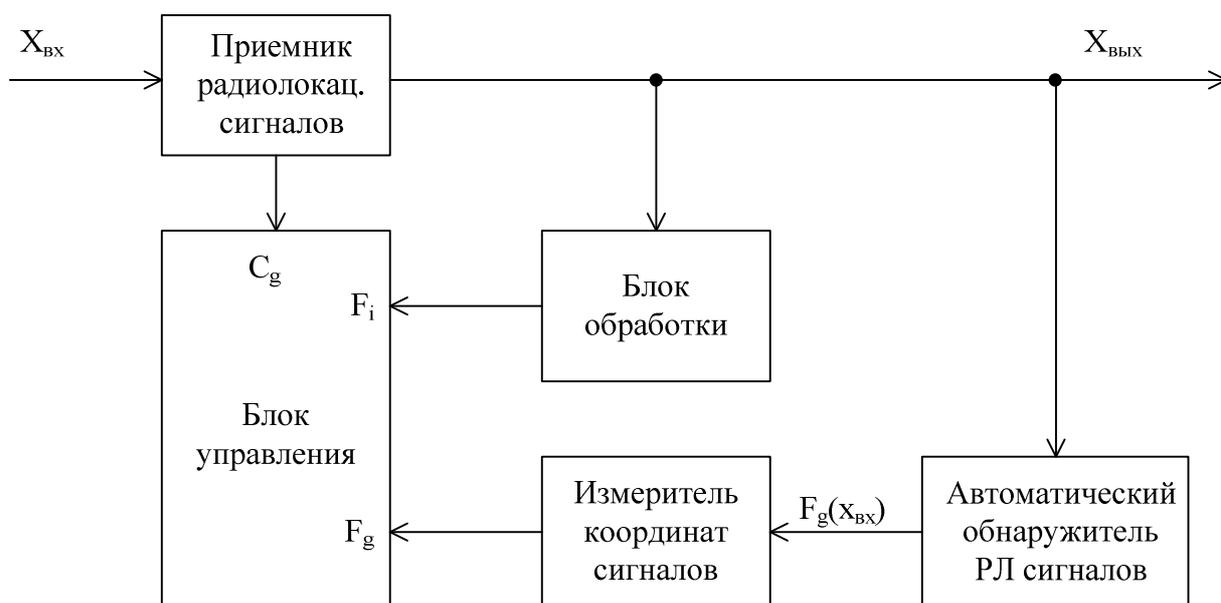


Рис. 2. Схема структурная общая с указаниями учителя от автообнаружителя

В соответствии с требованиями [1] задачу синтеза обучающейся системы (обучающегося обнаружителя) можно сформулировать следующим образом.

Пусть \vec{X} - это ситуация, определяемая нестационарным входным процессом с неизвестной функцией U , характеризующей нестационарность, и принадлежащая к одному из двух непрерывающихся классов: X_0^0 или X_g^0 ($g = 1, \dots, G$); координаты вектора \vec{X} - пачки X импульсов x ; координаты вектора X - амплитуды импульсов x ; X_0^0 - класс, характеризующий образ помехи; X_g^0 - класс, характеризующий образ S_g сигнала, отраженного от g объекта; ω_{12} - стоимость ошибки первого рода; ω_{21} - стоимость ошибки второго рода; c_g управляющее воздействие, изменяющее коэффициент усиления радиолокационного приемника в g стробе.

Требуется, исходя из критерия оптимальности [8], [10]

$$\omega_{12} P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g = 0\} = \omega_{21} P\{\vec{X} \in X_0^0; \vec{S}_g \neq 0\} \quad (1)$$

и дополнительных указаний учителя

$$F_g(\vec{X}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{S}_g \neq 0 \\ 0, & \text{если } \vec{S}_g = 0 \end{cases}$$

определяющих принадлежность принимаемой реализации к классу сигнала или классу помехи, синтезировать обучающийся обнаружитель радиолокационного сигнала в стробе автоматического сопровождения, определяющий, к какому из двух классов: X_0^0 или X_g^0

принадлежит принимаемая реализация \vec{X} . Обнаружитель должен вырабатывать итеративным методом такое значение управляющего воздействия c_g^* , при котором

считается, что \vec{X} принадлежит к классу X_g^0 (в g координатах есть сигнал), если амплитуды импульсов x в g стробе становятся больше порога квантования настолько, что импульсы, превышающие порог, формируют заданную по определенному критерию последовательность пачек X с вероятностью ошибки $\omega_{21}P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g \neq 0\}$. \vec{X} принадлежит к

классу X_0^0 (в g координатах нет сигнала), если амплитуды импульсов x становятся меньше порога настолько, что случайно превысившие порог импульсы (помеха) не формируют по тому же критерию последовательность импульсов с вероятностью ошибки $\omega_{12}P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g = 0\}$.

Для решения поставленной задачи приняты следующие допущения: входной процесс во время обучения является квазистационарным; регулировочная характеристика приемника линейная. Указанные допущения приемлемы в большинстве случаев, встречающихся в практике.

Синтез обнаружителя проведем по методу синтеза обучающегося приемника [7], обобщенному на случай, учитывающий требования поставленной задачи.

Согласно формуле полной вероятности

$$P\{\vec{X} \in X_g^0\} = P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g = 0\} + P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g \neq 0\}; \quad (2)$$

$$P\{\vec{X} \in X_g^0\} = P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g \neq 0\} + P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g = 0\}. \quad (3)$$

Кроме того,

$$P\{\vec{S}_g \neq 0\} = P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g \neq 0\} + P\{\vec{X} \in X_0^0; \vec{S}_g \neq 0\}; \quad (4)$$

$$P\{\vec{S}_g = 0\} = P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g = 0\} + P\{\vec{X} \in X_0^0; \vec{S}_g = 0\}. \quad (5)$$

Умножая обе части равенств (2) и (5) на ω_{12} , а обе части равенств (3) и (4) на ω_{21} , и вычитая (4) из (2), а (5) из (3), с учетом (1) получим:

$$\omega_{12}P\{\vec{X} \in X_g^0\} - \omega_{21}P\{\vec{S}_g \neq 0\} = (\omega_{12} - \omega_{21})P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g \neq 0\}; \quad (6)$$

$$\omega_{21}P\{\vec{X} \in X_g^0\} - \omega_{21}P\{\vec{S}_g = 0\} = (\omega_{21} - \omega_{12})P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g = 0\}. \quad (7)$$

Учитывая, что при $\vec{S}_g \neq 0$

$$P\{\vec{X} \in X_g^0\} = P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g \neq 0\},$$

а при $\vec{S}_g = 0$

$$P\{\vec{X} \in X_g^0\} = P\{\vec{X} \in X_g^0; \vec{S}_g = 0\},$$

выражения (6) и (7) запишем так:

$$\omega_{21}P\{\vec{X} \in X_g^0\} - \omega_{21}P\{\vec{S}_g \neq 0\} = 0, \quad (8)$$

если есть сигнал $\vec{S}_g \neq 0$;

$$\omega_{12}P\{\vec{X} \in X_g^0\} - \omega_{12}P\{\vec{S}_g = 0\} = 0, \quad (9)$$

если нет сигнала $\vec{S}_g = 0$.

Введем характеристическую функцию

$$F_1\{Q[\vec{X}U(n, n-1, C_g[n-1])]\} = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{X} \in X_g^0, \\ 0, & \text{если } \vec{X} \in \bar{X}_g^0, \end{cases} \quad (10)$$

где $U(n)$ – функция, характеризующая нестационарность входного процесса и указания учителя от автообнаружителя

$$F_g = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{S}_g \neq 0, \\ 0, & \text{если } \vec{S}_g = 0. \end{cases}$$

Так как

$$M\{F_1\{Q[\vec{X}U(n, n-1, C_g[n-1])]\}\} = P\{\vec{X} \in X_g^0\}; \quad (11)$$

$$M\{F_g\} = P\{\vec{S}_g \neq 0\}; \quad (12)$$

$$1 - M\{F_1\{Q[\vec{X}U(n, n-1, C_g[n-1])]\}\} = P\{\vec{X} \in \bar{X}_g^0\}; \quad (13)$$

$$1 - M\{F_g\} = P\{\vec{S}_g = 0\}; \quad (14)$$

то, умножая (11) и (13) на ω_{21} , а (12) и (14) на ω_{12} , запишем (8) и (9) в такой форме

$$M\{(\omega_{21}F_1\{Q[\vec{X}U(n, n-1, C_g[n-1])]\} - \omega_{21}F_g)\} = 0,$$

если $\vec{S}_g \neq 0$;

$$M\{(\omega_{12}(1 - F_1\{Q[\vec{X}U(n, n-1, C_g[n-1])]\}) - \omega_{12}(1 - F_g))\} = 0,$$

если $\vec{S}_g = 0$.

В результате алгоритм обучения примет следующий вид:

$$C_g[n] = U(n, n-1, C_g[n-1]) + \gamma_g[n]\omega_{21}\{F_1\{Q[\vec{X}[n], U(n, n-1, C_g[n-1])]\} - 1\}, \quad (15)$$

если $\vec{S}_g \neq 0$;

$$C_g[n] = U(n, n-1, C_g[n-1]) + \gamma_g[n]\omega_{12}F_1\{Q[\vec{X}[n], U(n, n-1, C_g[n-1])]\}, \quad (16)$$

если $\vec{S}_g = 0$.

После обучения обнаружитель вырабатывает управляющее воздействие $C_g^*[n]$, соответствующее определенному значению порога или коэффициента усиления приемника,

при котором выполняется критерий равенства вероятностей с соответствующими весами ошибок первого и второго родов.

Используя предложенный метод синтеза обучающегося обнаружителя можно получить теперь обучающийся обнаружитель, удовлетворяющий изложенным выше требованиям. Алгоритм обучения вытекает из алгоритма (15), (16) при условиях:

Замены функции $U(n-1, C_g[n-1])$ на $e(n, i)C_g[n-1]$,

$$\text{где } e(n, i) = \begin{cases} 1, & \text{если } n > 0 \text{ или } i > 0 \\ 0, & \text{если } n = i = 0 \end{cases}.$$

i – дополнительные циклы обучения.

$$\vec{Q}[\vec{X}[n], e(n, i)C_g[n-1]] = [\text{sgn}\{x_{11}[n](K_0 - \alpha e(n, i)C_g[n-1]) \bullet \\ \bullet K_H - B\}, \dots, \text{sgn}\{x_{LM}[n](K_0 - \alpha e(n, i)C_g[n-1])K_H - B\}],$$

$$F_1\{\vec{Q}[\cdot]\} = \begin{cases} 1, & \text{если } \vec{X} \in X_1^0 \\ 0, & \text{если } \vec{X} \in \bar{X}_1^0 \end{cases} - \text{реализация обнаружения сигнала, имеющего вид}$$

последовательности пачек импульсов, K_0, α, K_H – параметры приемника [11].

Структурная схема обучающегося обнаружителя радиолокационного сигнала в стробе автоматического сопровождения объекта, соответствующая требованиям САРП при поступлении указаний учителя от автообнаружителя приведена на рис. 4. синхронизация работы устройства, реализующего эту схему, осуществляется таким образом, что управляющий сигнал $C_g[n-1]$ поступает в приемник только во время формирования строба.

Выводы. Таким образом получен алгоритм обучения обнаружению радиолокационного сигнала в стробе автоматического сопровождения объекта при условии, когда указания учителя от оператора отсутствуют.

В перспективе целесообразно проведение исследований динамических характеристик обнаружителя, зависящих от параметра $\gamma_g[n]$, который определяет скорость сходимости алгоритма обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробей В.И. Выявления сигналу у засобах автоматизованої прокладки/ Воробей В.И., Михайлов В.С.// Водний транспорт. Зб. наук. праць Київської державної академії водного транспорту. – К.: РВВКДАВТ, 2000. - №1. с. 5-9.
2. 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.
3. 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.
4. Haykin S. Adaptive Radar Signal Processing/ Simon Haykin. – Johnwiley & Sons Inc., 2006.
5. El Mashade M.B.. Analysis of CFAR detection of fluctuation targets/ M.B. El Mashade//PIER C. – 2008. – Vol. 2. – p. 65-94.
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 «ХП», 2011
7. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. М.: Наука, 1970, 252 с.

-
8. Воробей В.И. Синтез обучающейся системы обнаружения радиолокационного сигнала при автоматизированном решении задач предупреждения столкновений судов. Вопросы судостроения, сер. Общетеχνическая, вып. 79, 1984, с. 24-29.
 9. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: «Сов. радио», 1974, 432 с.
 10. Воробей В.И. Ошибки обнаружения радиолокационного сигнала при автоматизированном управлении движением судна. Водный транспорт. Зб. Наук. праць Київської державної академії водного транспорту. – К.: РВВКДАВТ, 2014. - №2(20). с. 21-27.
 11. Кривицкий Б.Х. Автоматические системы радиотехнических устройств. – М. – Л.: Гос. энерг. изд-во, 1982. – 192 с.

Воробей В.І.

НАВЧАЮЧИЙСЯ ВИЯВЛЯЧ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ У ВІДСУТНОСТІ ДОДАТКОВИХ ВКАЗІВОК ВЧИТЕЛЯ

Розглянуто особливості виявлення радіолокаційного сигналу у стробі автосупроводження судна з точки зору теорії систем, що навчаються. Отримано алгоритм навчання виявленню об'єкту у відсутності вказівок вчителя.

Ключові слова: радіолокація, виявлення сигналу, навчання.

Vorobei V.

LEARNING RADAR TARGET DETECTOR WITHOUT A TEACHER

Radar target detection special features for autotrack system from the point of view of learning system theory are considered. Learning without a teacher algorithm for target detection is conducted.

Keywords: radar, detection, learning without a teacher.

УДК 629.735.05:53.087.61(043.2)

Соломенцев А.В., Зуев А.В., Демидко В.Г., Мусиенко А.А.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И МОНИТОРИНГ СИСТЕМ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ, НАВИГАЦИИ И НАБЛЮДЕНИЯ

Предложен подход к оценке надежности систем эксплуатации наземных средств связи, навигации и наблюдения. Предложена структура подсистемы мониторинга системы эксплуатации наземных средств связи, навигации и наблюдения

Ключевые слова: надежность, мониторинг, системы эксплуатации.

Постановка проблемы. Безопасность и регулярность полётов в гражданской авиации (ГА) Украины в значительной мере определяется надежностью функционирования наземных средств связи, навигации и наблюдения (СНН). Надёжность их функционирования обеспечивается системой эксплуатации (СЭ) СНН. Система эксплуатации современных средств СНН является сложной иерархической структурой, которая включает собственно средства СНН, различные технологические процессы (техническое обслуживание, ремонт, контроль, диагностирование, регулирование и др.), нормативно-техническую документацию, средства технологического оснащения, информационные ресурсы, расходные материалы и ряд других составляющих [1]. Надёжность названных составляющих в значительной степени