

УДК 621.391.837

В.К. Маригодов, профессор, д-р техн. наук,**Г.А. Тихонов, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.Sebastopol.ua***СПОСОБ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Предложен способ распознавания подводных объектов на основе двух критериев: использовании магнитометрического датчика и телевизионной камеры, адаптирующейся относительно частотно-контрастной характеристики гидросреды. Приведен расчет эффективности способа.

Ключевые слова: *сигнал изображения, блок управления, анализатор мгновенного спектра, канал связи, приемник сигнала изображения*

При поиске и распознавании металлических подводных объектов (затонувшие подводные лодки, самолеты, торпеды, мины и т.п.) телевизионные методы обнаружения и распознавания имеют относительно низкую эффективность в условиях большой мутности гидросреды, а также при больших глубинах [1, 2]. Другие известные способы распознавания в случае их однокритериальности не позволяют решить поставленную задачу.

В связи с этим представляется целесообразным использовать в процессе обнаружения и распознавания объектов одновременное применение двух методов: магнитометрического и телевизионного [3, 4]. Магнитометрическое распознавание подводных объектов основано на использовании магнитометрического датчика, обеспечивающего распознавание металлических объектов. Это обусловлено тем, что значительное большинство искусственных подводных объектов имеет металлическую поверхность. Телевизионная система при этом включается только тогда, когда сигнал на выходе магнитометрического датчика свидетельствует о том, что обнаружен искомый объект. Телевизионная система, являющаяся адаптивной относительно частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) гидросреды, функционирует в двух режимах: распознавание объекта в целом и распознавание отдельных фрагментов подводного объекта, т. е. мелких деталей, на основании которых можно получить информацию о характере повреждения.

Целью статьи является построение двухкритериальной системы обнаружения и распознавания металлических объектов, находящихся в подводном состоянии, а также оценка ее эффективности в различных условиях.

Структурная схема, которая поясняет принцип реализации способа обнаружения и распознавания подводного объекта, изображена на рисунке 1. Она работает следующим образом. Источник видеосигнала (телевизионная передающая камера) 1 и магнитометрический датчик 10 конструктивно размещены вместе с источником подсветки объекта на общей платформе, которая на специальном кабель-троссе соединена с надводной частью системы распознавания, а также со входом блока коммутации 2. Если магнитометрический датчик 10 в режиме, который задан блоком выбора порога 11, распознает подводный объект искомого класса, то сигнал на выходе блока 11 управляет режимом работы блока коммутации 2 таким образом, чтобы сигнал с выхода источника 1 подавался на вход полосового фильтра 3 низкочастотной части видеоспектра. С выхода последнего сигнал подается на информационный вход адаптивного предсказывающего фильтра 4, а с его выхода — через канал связи 5 и адаптивный корректирующий фильтр 6 на вход приемника сигнала изображения 7. Оптимально предсказанный сигнал с выхода адаптивного предсказывающего фильтра 4 поступает на вход анализатора мгновенного спектра 9, а с его выхода — на управляющий вход адаптивного предсказывающего фильтра и через канал управления 14 и блок вычитания 15 — на управляющий вход адаптивного корректирующего фильтра 6. Одновременно с выхода источника 1 сигнал подается на вход анализатора частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) гидросреды 12, а с выхода последнего сигнал анализа через блок управления 13 подается на другой вход (Вход 2) блока вычитания 15, на первый вход которого (Вход 1) поступает управляющий сигнал для адаптивного регулирования АЧХ адаптивного корректирующего фильтра с выхода канала управления 14. Блок вычитания 15 предназначен для того, чтобы на его выходе формировался управляющий сигнал для адаптивной регулировки АЧХ корректирующего фильтра 6, который не только воспроизводит сигнал на входе предсказывающего фильтра 4, но и компенсирует искажения, обусловленные неидеальностью ЧКХ гидросреды.

В случае, когда необходимо распознавать отдельные фрагменты изображения подводного объекта, оператор системы имеет возможность с помощью блока коммутации 2 подключить ко входу адаптивного предсказывающего фильтра 4 полосовой фильтр 8 высокочастотной части видеоспектра. Практически

можно, например, рекомендовать рабочий диапазон частот для фильтра 3 0 – 1,5 МГц, а для фильтра 8 1,5 – 6,5 МГц соответственно.

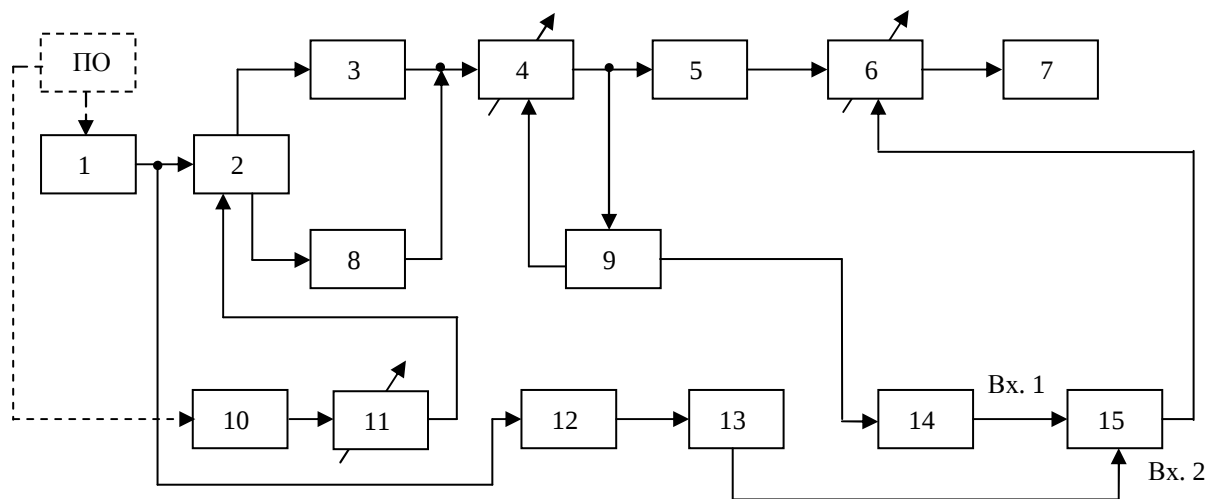


Рисунок 1 — Структурная схема, иллюстрирующая организацию способа распознавания:
 ПО — подводный объект; 1 — источник видеосигнала; 2 — блок коммутации; 3 — полосовой фильтр низкочастотной части спектра видеосигнала; 4 — адаптивный предсказывающий фильтр;
 5 — канал связи (кабель-тросс); 6 — адаптивный корректирующий фильтр; 7 — приемник сигнала изображения; 8 — полосовой фильтр высокочастотной части видеоспектра; 9 — анализатор мгновенного спектра предсказанного сигнала; 10 — магнитометрический датчик;
 11 — блок выбора порога; 12 — анализатор частотно-контрастной характеристики гидросреды;
 13 — блок управления; 14 — канал управления; 15 — блок вычитания

Рассчитаем выигрыш в эффективности распознавания, который может быть получен в результате использования предложенного способа. Телевизионная камера, например, «ПТУ-2002» в рабочем режиме потребляет 90 Вт/час электроэнергии. Источник освещения подводного объекта потребляет 15 кВт/час электроэнергии. Таким образом, когда поиск объекта во время буксировки на кабель-троссе телевизионной камеры с источником освещения длится один час, необходимо израсходовать 15,09 кВт электроэнергии. Этот расчет справедлив для однокритериального (телевизионного) способа распознавания. В предложенном способе обнаружение объекта выполняется магнитометрическим датчиком, а телевизионная система с источником освещения в это время не работает. Она включается только тогда, когда магнитометрический датчик обнаруживает подводный объект. Таким образом, за то же самое время поиска в предложенном способе можно получить экономию электроэнергии приблизительно 15 кВт/час. Кроме того, поиск объекта с помощью магнитометрического датчика дает возможность значительно уменьшить время поиска.

Определим выигрыш, который можно получить в предложенном способе за счет уменьшения полосы частот в фильтрах 3 и 8. Относительная среднеквадратичная ошибка $\overline{\delta_1^2}$ на выходе приемника сигнала изображения в системе с адаптивным предсказанием и корректированием определяется выражением [5]

$$\overline{\delta_1^2} = \frac{\Delta\omega k_0^2 (0,5 + m^2)}{2\pi q\alpha(1 + m^2)}, \quad (1)$$

где $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$ — эффективная полоса частот канала; $k_0^2 \ll 1$ — коэффициент, характеризующий затухание сигнала в канале связи; q — величина отношения мощностей сигнала и помехи на входе приемника; α — коэффициент, определяющий скорость экспоненциального спада автокорреляционной функции телевизионного сигнала; m — коэффициент амплитудной модуляции сигнала.

Если принять $k_0^2 = 0,01$, $m = 0,3$, $q = 10^4$ (отличное качество изображения), $\alpha = 1$ (относительно большая степень корреляционных связей в сигнале), то получим

$$\overline{\delta_1^2} = 5,4 \cdot 10^{-8} \Delta f. \quad (2)$$

В соответствии с (2) для однокритериального (телевизионного) способа распознавания, в котором используется широкополосный канал ($\Delta f = 6,5$ МГц), имеем $\overline{\delta_1^2} = 0,35$.

Для предложенного способа при использовании полосового фильтра низкочастотной части спектра ($\Delta f = 1,5$ МГц) получаем $\overline{\delta_1^2} = 0,081$. Если применяется полосовой фильтр высокочастотной части спектра ($\Delta f = 6,5 - 1,5 = 5$ МГц), то из (2) получаем $\overline{\delta_1^2} = 0,27$.

Выигрыш предложенного способа при сравнении с однокритериальным (телевизионным) для рассмотренных выше полосовых фильтров составляет соответственно:

$$\gamma_1 = \frac{\overline{\delta_2^2}}{\overline{\delta_1^2}} = \frac{0,35}{0,081} = 4,3 = 6,3 \text{ дБ};$$

$$\gamma_2 = \frac{\overline{\delta_2^2}}{\overline{\delta_1^2}} = \frac{0,35}{0,27} = 1,3 = 1,13 \text{ дБ}.$$

Представляет также интерес определить эффективность обнаружения и распознавания подводного объекта с помощью теоретико-игрового подхода, рассматривая условно антагонистическую матричную игру оператора системы (предложенного способа) с «природой». Смешанные (рандомизированные) стратегии оператора состоят в выборе метода обнаружения или распознавания объекта, а смешанные стратегии «природы» заключаются в создании условий различной степени мутности гидросреды, что обусловлено процессами поглощения и рассеяния света в воде.

Поскольку первый игрок (оператор системы) и второй игрок «природа» располагают двумя смешанными стратегиями каждый, то матрицы обнаружения «А» и распознавания «В» имеют следующий вид:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{pmatrix}; \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Здесь p_{ij} — вероятность обнаружения подводного объекта различными средствами ($i = 1$ — магнитометром; $i = 2$ — телевизионной камерой; $j = 1$ — условия малой степени мутности гидросреды; $j = 2$ — условия большой степени мутности); q_{ij} — вероятность распознавания объекта теми же средствами при тех же условиях.

Цена игры может быть определена для процессов обнаружения и распознавания по формулам [6]:

$$v_1 = \frac{p_{11}p_{22} - p_{21}p_{12}}{p_{11} - p_{12} - p_{21} + p_{22}}; \quad v_2 = \frac{q_{11}q_{22} - q_{21}q_{12}}{q_{11} - q_{12} - q_{21} + q_{22}}. \quad (4)$$

Вероятности (стратегии), входящие в (3), (4), могут быть определены экспериментальным путем на основе натурных испытаний системы. В качестве примера примем, что $p_{11} = 0,9$; $p_{12} = 0,9$; $p_{21} = 0,7$; $p_{22} = 0,3$; $q_{11} = 0,1$; $q_{12} = 0,1$; $q_{21} = 1$; $q_{22} = 0,2$. Тогда по формулам (4) получаем: $v_1 = 0,9$; $v_2 = 0,1$. Низкая вероятность распознавания объясняется тем, что магнитометрический метод в значительной степени уступает телевизионному. При этом необходимо отметить, что последний позволяет распознать фрагменты и мелкие детали объекта.

Предложен способ распознавания подводных объектов, основанный на одновременном использовании магнитометрического и телевизионного методов обнаружения и распознавания. Показана эффективность применения данного способа по сравнению с однокритериальными системами распознавания. Определена вероятность обнаружения и распознавания на основе теоретико-игрового подхода в условно конфликтной ситуации между оператором системы распознавания и «природой». При этом целесообразно вначале осуществлять обнаружение объекта магнитометром, а распознавание проводить с помощью телевизионной камеры.

Задачей дальнейших исследований в данном направлении можно считать повышение эффективности распознавания, например, реализацией стробоскопического режима работы источника освещения и передающей телевизионной трубки.

Бibliографический список использованной литературы

1. Варфоломеев А.М. Повышение эффективности светоинформационных систем, работающих в мутных средах / А.М. Варфоломеев, В.К. Маригодов // Техника кино и телевидения. — 1989. — № 3. — С. 21–24.
2. Кондратьев А.Г. Техника промышленного телевидения / А.Г. Кондратьев, М.И. Лукин. — Л.: Лениздат, 1970. — 112 с.

3. Пат. 93126 Україна. МПК(2009)H04B1/62. Спосіб розпізнавання підводних об'єктів / Марігодов В.К., Кисельов О.О. (Україна); заявник і патентовласник Севастоп. націон. техн. ун-т. — №a200906483; заяв. 22.06.2009; опубл. 10.01.2011. Бюл. №1.

4. Марігодов В.К. Потенциальные возможности адаптивного предсказания видеосигнала / В.К. Марігодов // Техника кино и телевидения. — 1980. — № 7. — С. 32–33.

5. Марігодов В.К. Помехоустойчивая обработка информации: методы оптимального линейного предсказания и корректирования / В.К. Марігодов. — М.: Наука, 1983. — 201 с.

6. Крушевский А.В. Теория игр: учеб. пособие для вузов / А. В. Крушевский. — К.: Вища школа, 1977. — 216 с.

Поступила в редакцию 18.10.2010 г.

Марігодов В.К., Тіхонов Г. О. Спосіб розпізнавання підводних об'єктів

Запропоновано спосіб розпізнавання підводних об'єктів на основі двох критеріїв: використання магнітометричного датчика і телевізійної камери, що адаптується відносно частотно-контрастної характеристики гідросередовища. Наведено розрахунок ефективності способу.

Ключові слова: сигнал зображення, блок керування, аналізатор миттєвого спектру, канал зв'язку, приймач сигналу зображення

Marigodov V.K., Tihonov G.A. A method for recognizing underwater objects

The paper seeks to suggest a method for recognizing underwater objects on the basis of two criterions: applying the magnetometer sensor and a television chamber, which adapts in relation to frequency-contrasting characteristics of the hydro-environment. Calculation of the method efficiency is provided.

Keywords: picture signal, control bloc, instantaneous spectrum analyzer, communication channel, picture signal receiver.