

УДК 004.02

Стороженко Д.В., Номоконова Н.Н.

Применение методов нечеткого вывода в пассивной гидролокации

Представлены отдельные результаты сравнения нечеткого и порогового обнаружителей, анализирующих уровень энергии гидроакустического сигнала.

Ключевые слова: аппарат нечеткой логики, априорная неопределенность, цифровая обработка сигналов, моделирование.

Storozhenko D.V., Nomokonova N.N.

Application of methods of fuzzy inference in the passive sonar

The individual results of comparison of fuzzy and threshold detectors that analyze the energy level of the sonar signal are presented.

Keywords: fuzzy logic, a priori uncertainty, digital signal processing, modeling.

Актуальность рассматриваемой в данном докладе задачи вызвана необходимостью поднять уровень автоматизации при принятии решений об обнаружении средствами пассивной гидроакустики технических объектов в морской среде. В качестве объекта для исследования алгоритмов обнаружения выбраны измерители сигналов в виде ненаправленных гидрофонов в составе дрейфующих радиогидробуев, входящих в состав система дрейфующих пространственно-распределенных гидроакустических датчиков (ДПГРД) и передающих акустический сигнал в единый блок приема и обработки информации.

В задаче обнаружения оператору системы требуется определить степень присутствия технического объекта (далее ТО) в данной акватории в приближенных к режиму реального времени условиях на основе энергетического анализа выбранного участка спектра гидроакустического сигнала. Реализация устройства принятия решения об обнаружении ТО с помощью классических подходов требует определения параметров математической модели шума. Однако на практике, шумовые искажения могут

отличаться от расчетных ввиду множества априорно неопределенных параметров морской среды [1]. А эффективность обнаружителя на основе метода энергетического анализа зависит от сложности выбора порога обнаружения в зависимости от гидрофизических и помеховых условий [2]. Для повышения эффективности обнаружения требуется разработка и внедрение новых алгоритмов принятия решений.

Для решения поставленной задачи с вышеописанной особенностью целесообразно применить алгоритмы, соответствующие концепции мягких вычислений, а именно, нечеткие системы, которые допускают отсутствие четкой формализованности входных параметров [3].

При подходе с применением нечеткой логики результат обнаружения возможно представить в качестве степени (истинности) присутствия [4]. Числовое значение степени присутствия следует интерпретировать как оценку принадлежности входного сигнала к одному из трех заданных состояний: *шум, неопределенность и присутствие объекта*.

Применение степени истинности позволяет использовать преимущества многозначной логики без существенного усложнения алгоритма работы обнаружителя.

В данной статье рассматривается применение нечеткой логики только для анализа энергии гидроакустического сигнала в ДПРГД. На вход нечеткого обнаружителя поступает информация с датчиков после первичной цифровой обработки гидроакустического сигнала, которая включает быстрое преобразование Фурье (БПФ) с подсчетом спектральной плотности мощности, выделение отрезка наиболее информативного участка спектра и усреднение энергии за интервал наблюдения (такт) равный 1 секунде.

В данном примере нечеткий обнаружитель выдает результат за каждый такт времени на основе оценки двух признаков: уровень энергии (входная переменная E) и скорость изменения энергии (входная переменная DIF). При этом объем накопления данных для анализа, равный окну усреднения этих переменных, составляет несколько секунд, и может изменяться. На рис. 1

показана схема включения нечеткого обнаружителя (далее НО) на выходе первичной обработки данных (ПОД), поступающих с измерительного прибора (ИП):

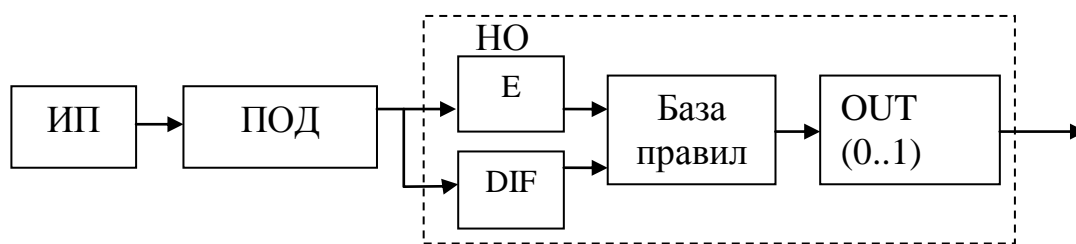


Рис.1 Схема включения НО

НО реализован в программной среде MATLAB (модуль *Fuzzy Logic Toolbox*).

Ниже представлен набор нечетких правил обнаружителя с весовыми коэффициентами:

- 1) Если *Е* низкое и *DIF* около 0, то *OUT* есть шум $w_1=1$;
- 2) Если *Е* среднее и *DIF* не около 0, то *OUT* есть присутствие $w_2=1$;
- 3) Если *Е* среднее и *DIF* около 0, то *OUT* есть неопределенность $w_3=0,6$;
- 4) Если *Е* высокое и *DIF* около 0, то *OUT* есть присутствие $w_4=0,7$;
- 5) Если *Е* высокое и *DIF* не около 0, то *OUT* присутствие $w_5=1$;
- 6) Если *Е* среднее и *DIF* около 0, то *OUT* неопределенность $w_6=0,7$;
- 7) Если *Е* низкое, то *OUT* шум $w_7=1$;
- 8) Если *Е* высокое, то *OUT* шум $w_8=0$;

Весовые коэффициенты w_1-w_8 правил обозначают уверенность эксперта в истинности конкретного правила. Например, правило №8 имеет весовой коэффициент $w_8=0$, что означает его исключение из набора. Данное свойство нечетких систем обеспечивает дополнительную гибкость в разработке решающей системы. Например, наличие в наборе противоречивых правил не приводит к сбоям системы, а лишь снижают достоверность результата [4].

В идеальном акустическом канале энергия гидроакустического сигнала ТО плавно изменялась бы в зависимости от расстояния до датчика. Однако в реальных условиях изменение энергии происходит с различными колебаниями, которые не удастся точно спрогнозировать или смоделировать [2]. На рис.2

изображен сигнал, поступающий на вход решающего устройства НО, смоделированный как плавное изменение энергии $x(t)$ и колебания энергии в виде гауссовского шумового процесса $n(t)$. Данная модель тестового сигнала была выбрана, исходя из схожести с реальным сигналом, для которого характерно увеличение (уменьшение) акустической энергии с уменьшением (увеличением) расстояния от ТО до датчика. Однако параметры гидрофизических процессов, вызывающих колебания энергии априори неизвестны. Величина энергии $y(t)$ – нормированная мощность в относительных единицах, где за 1 принимается максимальное значение суммы сигнал/помеха для проводимой серии экспериментов.

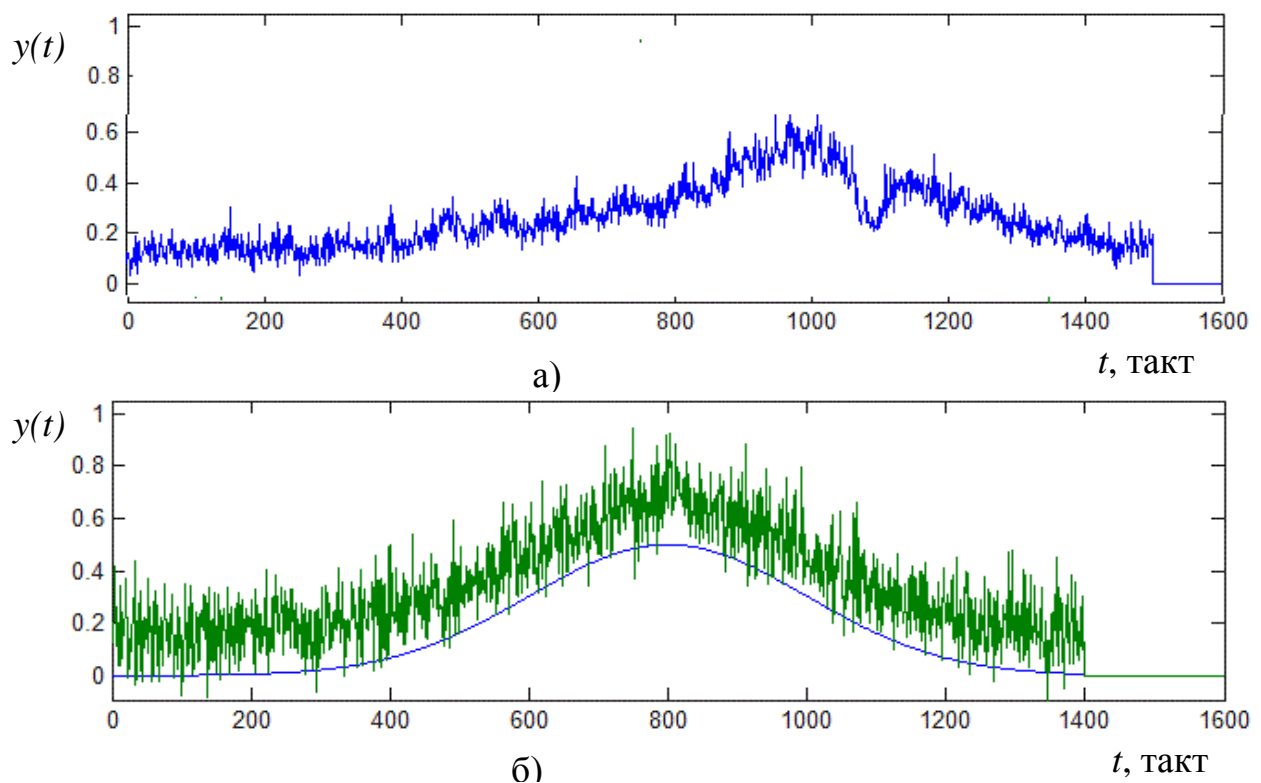


Рис. 2. Массив значений энергии а) реальный; б) тестовый
Сгенерированный массив значений энергии состоит из 1400 тактов:

$$y(t)=x(t)+n(t);$$

с предварительным усреднением:

$$Y(t)=\frac{1}{N}\int_{t-N}^t y(t)dt, \quad \text{где } N\text{-- размер окна усреднения}$$

Входная переменная DIF представляет собой одномерный массив усредненных значений производной $z(t)=y'(t)$:

$$D(t) = \frac{1}{N} \int_{t-N}^t z(t) dt, \quad \text{где } N - \text{размер окна усреднения}$$

Отношение сигнал/шум задавалось следующим соотношением:

$$\alpha = 10 * \log_{10} \left(\frac{\max(x(t))}{\mu_n} \right) \text{ (дБ)}, \text{ где } \mu_n - \text{мат. ожидание энергии шума } n(t)$$

Далее представлены диаграммы оценок степени присутствия сигнала на фоне аддитивного шума выполненных нечетким обнаружителем в сравнении с обнаружителем с фиксированным порогом.

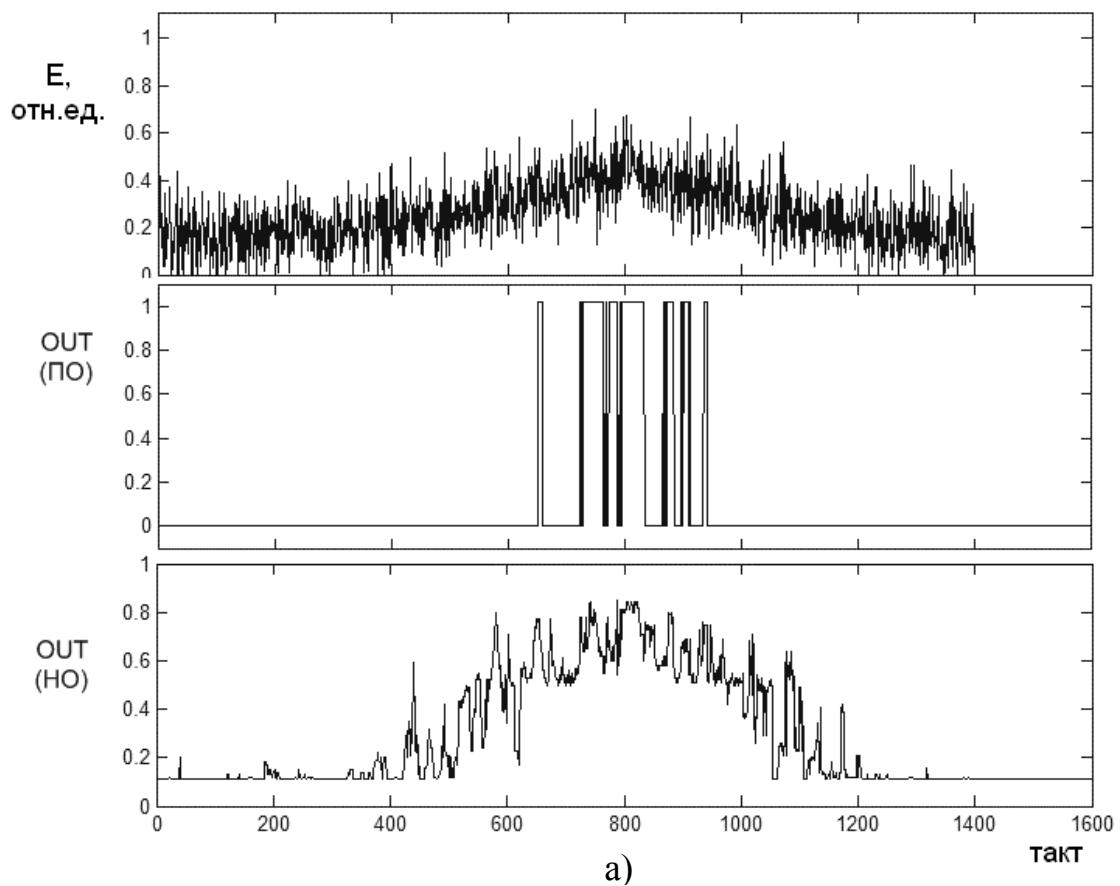
Решающее правило порогового обнаружителя (далее ПО):

$$OUT_n = \begin{cases} Y(t) < b \Rightarrow 0 \\ Y(t) \geq b \Rightarrow 1 \end{cases}, \text{ где } b - \text{порог обнаружения}$$

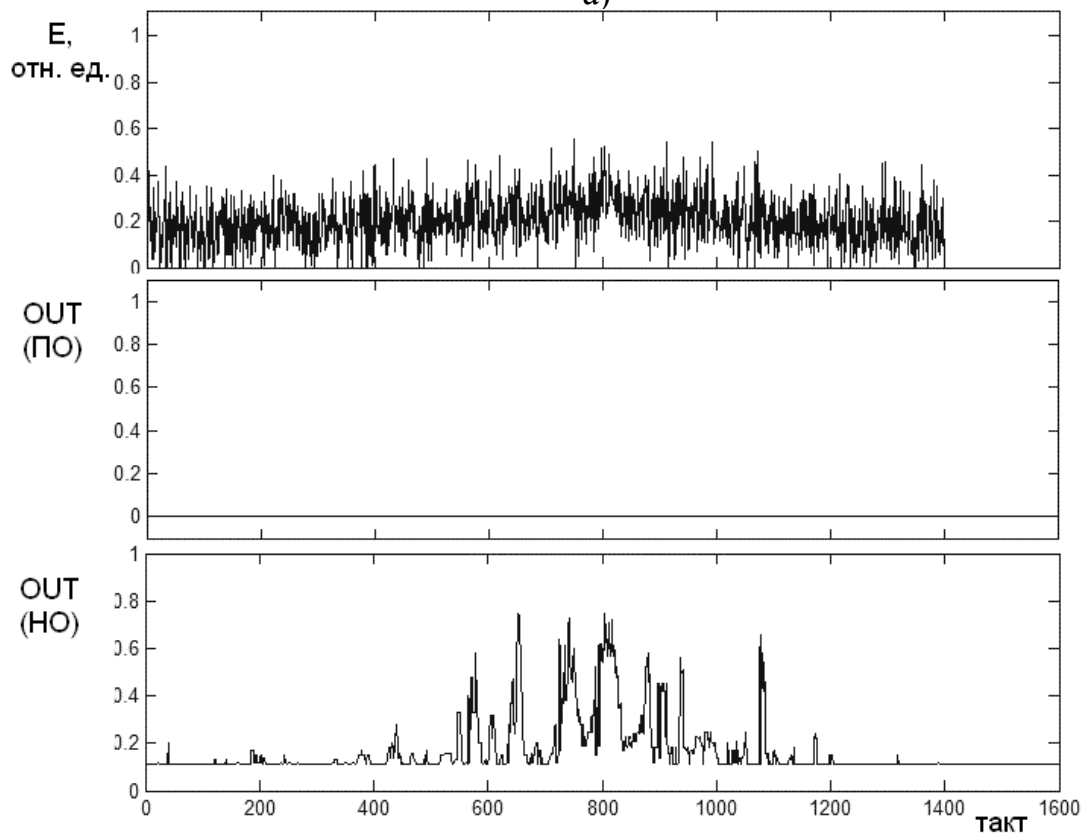
Для рассматриваемого ПО был выбран уровень, соответствующий (для рассматриваемого в статье примера) превышению уровня энергии смеси сигнала/шум над заданной средней мощностью шума в два раза ($b=0.4$).

Для сравнительного анализа в ПО был установлен порог $b=0.45$, при превышении которого на выходе нечеткого обнаружителя формируется максимальная оценка степени присутствия, т.е. 1. Также, для обоих обнаружителей размер окна усреднения N одинаковый.

Результаты моделирования и сравнения с пороговым обнаружителем представлены на рис. 3. Каждый набор диаграмм состоит из входного сигнала $y(t)$ и оценок присутствия объекта пороговым и нечетким обнаружителем соответственно. При $\alpha=0$ дБ (рис. 3а) на выходе пороговый обнаружитель работает не стабильно, и требует или повышения порога или увеличения времени усреднения. При $\alpha < 0$ (рис. 3б) ПО не регистрирует обнаружение, а ПО продолжает формировать признаки присутствия объекта, что, строго говоря, нельзя считать гарантированным обнаружением. Перспективным направлением применения представленного обнаружителя являются системы с пространственно-распределенными датчиками, позволяющие повысить достоверность обнаружения за счет сравнения результатов от разнесенных датчиков, учитывая перемещение объекта относительно них.



а)



б)

Рис 3. Диаграммы входного сигнала $y(t)$, обнаружения сигнала пороговым и нечетким обнаружителем при различном α : а) 0 дБ в) - 4 дБ

Выводы:

1. Используемый подход применения аппарата нечеткой логики не противоречит методам порогового обнаружения. В данном случае порог интегрального обнаружителя ниже порога нечеткого обнаружителя.
2. В условиях высокого уровня α использование нечеткой логики не дает преимуществ.
3. В интервале соотношения $\alpha \in [4;0]$ применение нечеткой логики дает положительный результат за счет снижения вероятности пропуска цели и позволяет применять результаты на последующей стадии анализа.
4. Представляется целесообразным выполнить анализ стабильности работы НО при различных значениях сигнал/помеха и скорости изменения полезного сигнала для уточнения диапазона применения преимуществ НО по сравнению с пороговым обнаружителем.

Литература

1. Коваленко В.В. Современные тенденции развития гидроакустических методов подводного наблюдения // Труды Нижегородской акустической научной сессии / под ред. С.Н. Гурбатова. – Нижний Новгород: ТАЛАН, 2002. – С. 15–16.
2. Бурдинский И.Н. Методы и средства детектирования сигналов гидроакустических система позиционирования. – Вестник ТОГУ. – 2009. – № 4 (15). – С. 39–46.
3. Стороженко Д.В. Распознавание сигналов в системах с подвижными объектами / Д.В. Стороженко, А.Е. Бородин, Н.Н. Номоконова // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 8. – С. 121
4. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами МАТЛАБ. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.

Стороженко Дмитрий Викторович

Ст. лаборант каф. электроники Владивостокского Государственного
Университета Экономики и Сервиса;

690091 г. Владивосток, ул. Семёновская д. 15, 5 этаж.

Тел.: (423) 246-38-55, моб.: +7 924 2402258

Эл. почта: dimvvsu@rambler.ru

Номоконова Наталья Николаевна

Доцент каф. электроники Владивостокского Государственного Университета
Экономики и Сервиса, профессор, доктор технических наук.

Тел.: (423) 2745248, моб.: +7 914 7045248

Эл. почта: natalya.nomokonova@vvsu.ru