

УДК 621.396.96

Адаптация нейросетевой системы распознавания вертолета по его акустическому излучению к скорости полета

профессор, д.т.н. Хохлов В. К.^{1,*},
Гулин Ю. Ю.¹, Муратов И. В.¹

*khokhlov2010@yandex.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В статье рассмотрен вопрос адаптации нейросетевого тракта распознавания вертолета от аэродинамических и наземных объектов по его акустическому излучению к скорости полета вертолета. Используются нецентрированные информативные признаки-отсчеты оценок спектров сигналов, соответствующие локальным экстремумам энергетического спектра реализаций входных сигналов. Обоснован принцип адаптации нейросети и структура блока адаптации. Для формирования дискриминационной характеристики дискриминатора используются авторегрессионные статистические характеристики квадратурных составляющих реализаций акустических сигнала, полученные при помощи дискретного преобразователя Гильберта.

Ключевые слова: нейронная сеть, адаптация нейронной сети, информативные признаки, распознавание, вертолет, пассивные акустические информационные системы, спектральная плотность мощности

Введение

В последние годы возрос интерес к использованию пассивных акустических информационных систем (ИС), осуществляющих обнаружение, распознавание и пеленгацию аэродинамических и наземных объектов по их акустическим излучениям для применения в системах защиты. Отличительная особенность данных ИС – автономность, высокое быстродействие, работа в условиях интенсивных искусственных и естественных помех при большом динамическом диапазоне параметров и нестационарности входных воздействий, работа в условиях реверберационных явлений, инвариантность к неинформативным параметрам условий встречи объектов и условий применения, робастность и возможность адаптации.

Актуальной является задача обоснования алгоритмов обработки сигналов в пассивных акустических ИС, осуществляющих классификацию типов объектов по их акустическим излучениям, и улучшение их рабочих характеристик. В акустических ИС информативные параметры случайных сигналов на входе и помех [1] являются

нецентрированными случайными величинами или процессами на ограниченном интервале наблюдения, для которых априорно не известны математические ожидания, оценить которые по нестационарной реализации также не представляется возможным.

В этих условиях невозможно применить традиционные методы статистических решений, требующие вычисления и обработки центрированных параметров сигналов, которые при неизвестных математических ожиданиях получить принципиально невозможно.

Всем отмеченным выше требованиям удовлетворяет подход к созданию принципиально новых ИС, основанный на обработке в трактах ИС нецентрированных параметров сигналов и помех, на использовании в качестве априорной информации начальных моментов случайных процессов [2] и на применении нейросетевых технологий для исследования и проектирования ИС нового поколения [3].

В известных источниках работ рассмотрены нейросетевые алгоритмы классификации аэродинамических и наземных объектов [3] и вопросы их адаптации к скоростям движения объектов [4], при этом использовались информативными признаки, сформированные на основе гистограмм распределения длительностей интервалов между нулями входных реализаций. Этот признак обеспечивает худшие характеристики распознавания вертолета от гусеничной техники [1,2,5]. В зарубежных источниках предлагаются решения на основе применения высокопроизводительных аналоговых процессоров для высокоскоростной идентификации целей [6], решения основанные применении классификаторов, обученных при помощи различных параметрических методов спектрального представления, в частности, линейного предсказания и кепстра [7]. В [8,9] предлагаются методы, основанные на вейвлет-преобразованиях и робастном обучении.

В [1] показано, что спектральные методы и робастное обучение нейросетей позволяют распознавать вертолет от других аэродинамических и наземных объектов с лучшими рабочими характеристиками при изменении скорости полета в пределах 10%. Для обеспечения работы нейросети в широком диапазоне скоростей полета вертолета необходимо применение адаптивных методов [4].

Цель работы состоит в исследовании вопросов адаптации нейросетевого тракта, использующего спектральные информативные признаки, к скорости вращения винта вертолета и обосновании рабочих характеристик и структурной схемы тракта адаптации.

Научная новизна работы заключается в обосновании принципа адаптации нейросетевой системы распознавания с нецентрированными спектральными информативными признаками, на основе применения дискриминатора, использующего авторегрессионные статистические характеристики входных квадратурных широкополосных реализаций сигналов, полученных при помощи дискретного преобразования Гильберта

Постановка задачи

В статье рассмотрены вопросы адаптации нейросетевой системы (НС) распознавания вертолета по его акустическому излучению.

В [1,5] обоснованы информативные признаки акустических сигналов от аэродинамических и наземных объектов военной техники.

Анализируются следующие признаки входных реализаций сигнала:

- длительности интервалов между нулями;
- отсчеты огибающей;
- распределение длительностей интервалов между нулями (гистограммная оценка);
- отсчеты оценок спектральных плотностей мощности (СПМ).

Сокращение размерности и выбор информативных признаков акустических сигналов от наземной техники, самолета и вертолета производился на основе трех методов : главных компонент, дискриминантного анализа и метода коэффициентов множественной начальной регрессии (КМНР).

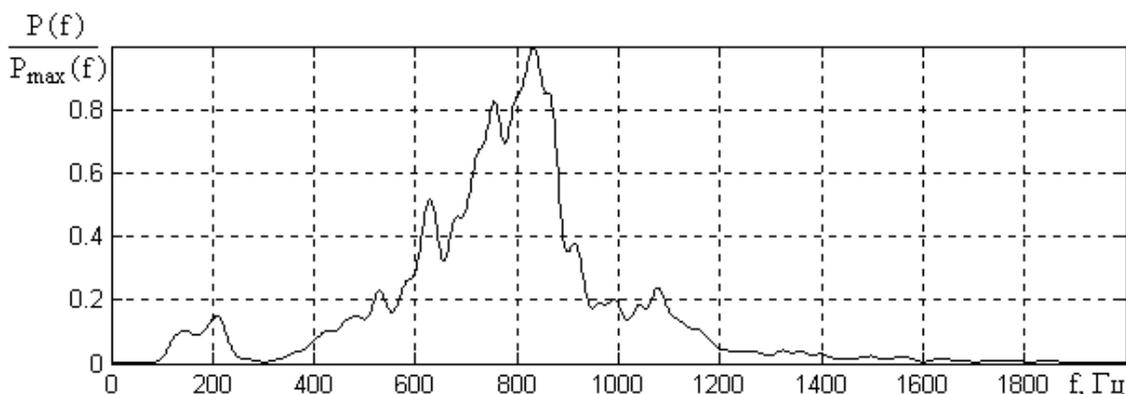
Дискриминантный анализ и метод на основе КМНР показали, что наилучшим признаком в точки зрения разделимости классов вертолета и наземных и воздушных объектов следует считать отсчеты оценок спектров сигналов, соответствующие локальным экстремумам (максимумам и минимумам) энергетического спектра входных сигналов.

При использовании метода КМНР признаки не центрировались, в классических методах использовались центрированные признаки.

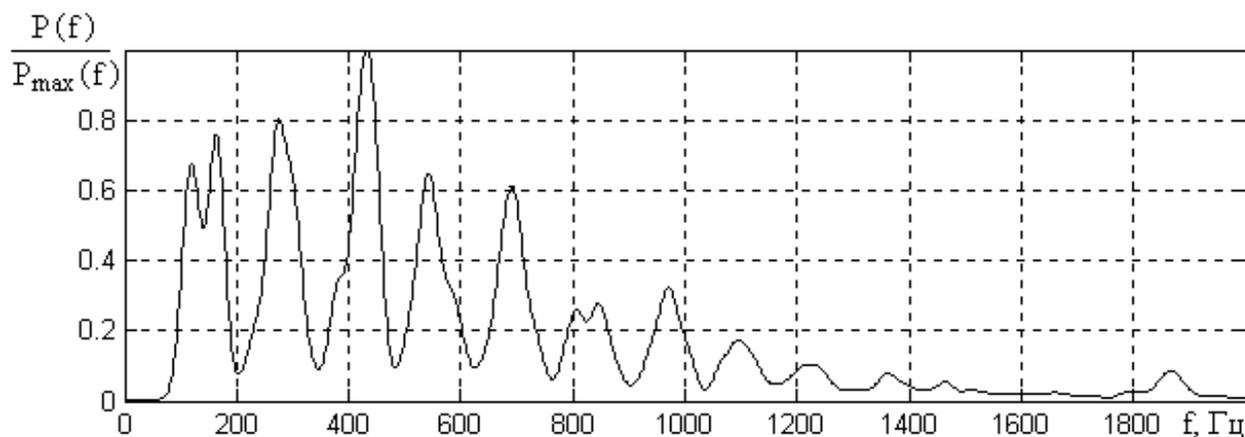
В условиях плохой обусловленности данных и априорной неопределенности, при неизвестных математических ожиданиях, применение классических методов анализа затрудняется. В этих условиях для анализа разделимости классов эффективнее использовать МКНР, так как данная методика оперирует начальными моментами случайных величин и не требует знания математических ожиданий. Кроме того, использование КМНР связано с меньшими вычислительными затратами при плохой обусловленности данных [1].

Результаты исследования [1,5] подтвердили хорошую разделимость классов вертолета от самолета и наземной техники в пространстве нецентрированных параметров.

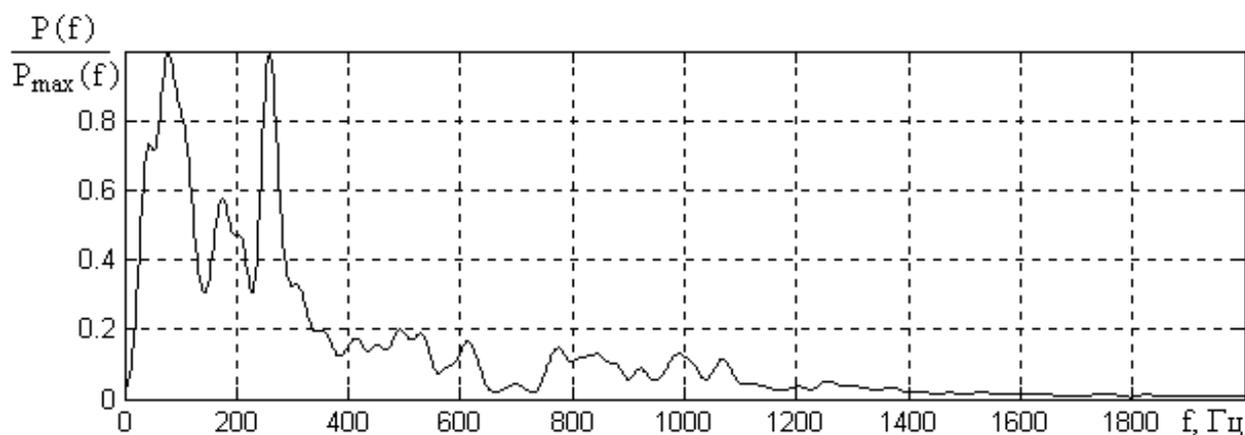
Оценки спектральных плотностей мощности выборочных реализаций акустических сигналов самолета, вертолета и фонового шума приведены на рисунке 1.



а)



б)



в)

Рис. 1. Модифицированная оценка СПМ (периодограмма Уэлча) акустического сигнала самолета (а), вертолета (б) и фонового шума (в) на интервале времени наудения 0,5 секунды.

Отсчеты СПМ в НС могут быть сформированы на выходах соответствующих резонансных фильтров. Недостатком рассматриваемого информативного признака, отсчетов оценок экстремумов СПМ входных реализаций, является его неинвариантность к скорости полета вертолета, так как частота вращения винта может меняться в некотором диапазоне в процессе полета в зависимости от режима, и различные модели вертолетов имеют свой диапазон изменения частот вращения винта. Положение локальных экстремумов СПМ меняется с изменением скорости вертолета, причем характер изменения зависит и от направления полета к наблюдателю или в сторону наблюдателя, и от эффекта Доплера. Поэтому в системе необходим блок адаптации.

Обоснование принципа построения блока адаптации нейросетевой системы распознавания

Блок адаптации, которым была дополнена структура НС, после пеленгации объекта и включения тракта обработки сигнала должен решать задачи следящего измерителя:

- 1) оценка кажущейся частоты следования лопастей $f_{(1)}$ при захвате цели;
- 2) слежение за частотой $f_{(1)}$ при сопровождении цели;
- 3) формирование сигнала управления параметрами резонансных фильтров блока выбора информативных признаков БВИП.

Было показано [1], что существует связь между основной частотой $f_{(1)}$, периодом следования лопастей $T_{(1)}$ и видом автокорреляционной функцией (АКФ) реализации сигнала.

АКФ может быть оценена по отсчетам исходной реализации случайного процесса в виде несмещенной оценки

$$C_{ss}[m] = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} s[n+m]s[n], \quad 0 \leq m \leq N-1. \quad (1)$$

где: N - объем выборки; $s[n]$ - отсчет реализации сигнала; m - сдвиг между сечениями.

Оценка АКФ (рисунок 2) дает представление о характере статистической связи отсчетов акустических сигналов вертолета. Присутствие в АКФ выраженного локального максимума отражает периодический характер акустического шума вертолета, причем абсцисса этой характерной точки АКФ соответствует величине обратной $f_{(1)}$, т.е. соответствует периоду следования лопастей $T_{(1)} = 1/f_{(1)}$.

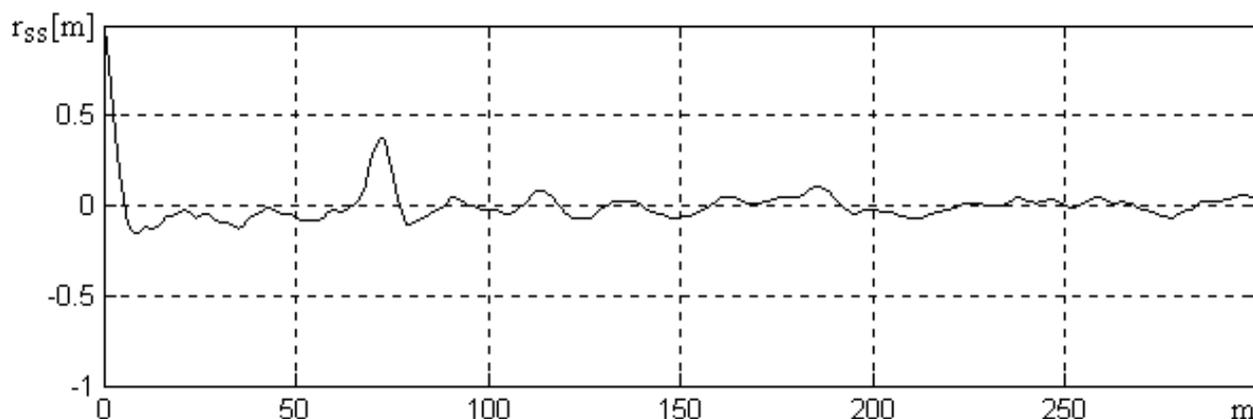


Рис. 2. Оценка нормированной АКФ реализации реального акустического сигнала вертолета

Авторегрессионные статистические характеристики сигнала на входе блока адаптации

Входное воздействие приемного устройства является функцией времени и содержит информацию об измеряемом параметре $T_{(1)}$:

$$\xi(t, T_{(1)}) = \xi^c(t, T_{(1)}) + \xi^n(t), \quad (2)$$

где $\xi^c(t, T_{(1)})$, $\xi^n(t)$ – реализации сигнала и помехи соответственно с параметром $T_{(1)}$.

Обозначим через $s[n, p_0]$, $n = \overline{1, N_C}$ дискретизированную с интервалом Δt и представленную ограниченной выборкой длиной N_C реализацию сигнала (2), где $p_0 = T_{(1)} / \Delta t$ – число отсчетов, соответствующее периоду $T_{(1)}$. Исследуем регрессионную зависимость исходного сигнала и задержанного на p отсчетов:

$$\tilde{s}[n, p_0] = \hat{\beta}(p, p_0) \cdot s[n, p_0], \quad (3)$$

где $\tilde{s}[n, p_0] = s[n - p, p_0]$.

Матрица оценок начальных корреляционных моментов указанных последовательностей имеет вид

$$\hat{\mathbf{K}}_{SS} = \begin{pmatrix} \hat{K}_{11} & \hat{K}_{12} \\ \hat{K}_{21} & \hat{K}_{22} \end{pmatrix},$$

где $\hat{K}_{11} = \sum_{n=1}^N \tilde{s}^2[n, p_0]$, $\hat{K}_{22} = \sum_{n=1}^N s^2[n, p_0]$, $\hat{K}_{12} = \hat{K}_{21} = \sum_{n=1}^N s[n, p_0] \tilde{s}[n, p_0]$.

Тогда на основании [1, 2] оценка коэффициента регрессии равна

$$\hat{\beta}(p, p_0) = -\frac{\Lambda_{12}}{\Lambda_{11}} = \frac{\hat{K}_{12}}{\hat{K}_{22}} = \left(\sum_{n=1}^N s[n, p_0] \tilde{s}[n, p_0] \right) \left(\sum_{n=1}^N s^2[n, p_0] \right)^{-1}. \quad (4)$$

По сути, коэффициент $\hat{\beta}(p, p_0)$ отражает нормированную авторегрессионную зависимость и определяется подобно нормированной оценке АКФ. Поэтому вид, характерный для АКФ (1), будет наблюдаться и у коэффициента регрессии, т.е. зависимость $\hat{\beta}(p, p_0)$ будет иметь выраженный глобальный максимум (для сигнала вертолета) в точке p_0 . Данное обстоятельство используется для измерения параметра $f_{(1)}$ при захвате цели.

В качестве примера на рисунке 3 приведена зависимость $\hat{\beta}(p, p_0)$ в рабочем диапазоне возможных значений величины p_0 для одной из реализаций акустического сигнала вертолета с $p_0 = 72$, $\Delta t = 10^{-4}$ с $f_{(1)} = 1/(p_0 \Delta t) = 138,9$ Гц.

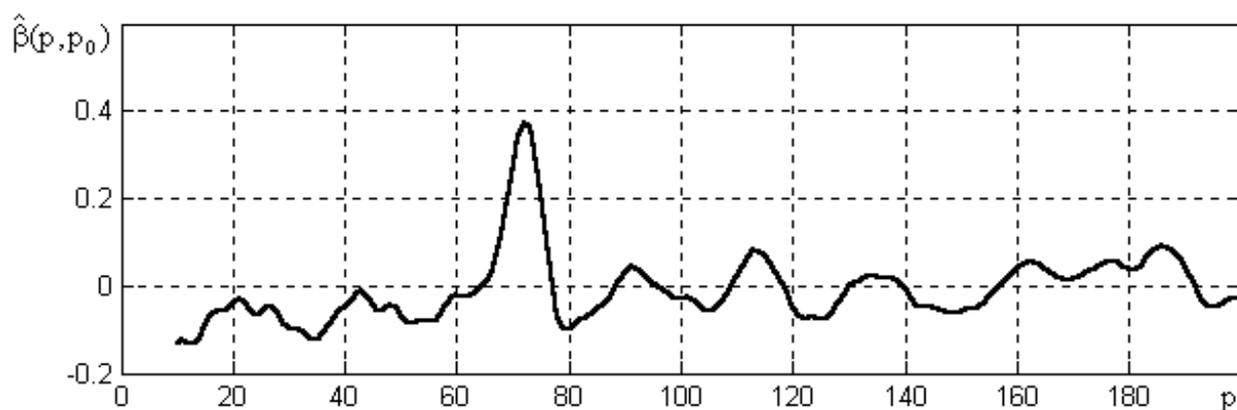


Рис. 3. Оценка коэффициента авторегрессии сигнала на входе блока адаптации

На практике широко применяют подоптимальные дискриминаторы, которые проще оптимальных в реализации, но лишь незначительно уступают им по своим параметрам. Независимо от характера операций над входными сигналами, выходные сигналы этих дискриминаторов должны удовлетворять условиям: нормировки (независимости от амплитуды входного сигнала); фазирования (обеспечения вещественного характера сигнала рассогласования); нечетной симметрии.

Взаиморегрессионные статистические характеристики сигналов на выходе квадратурных сигналов, полученных с помощью преобразования Гильберта.

Коэффициент регрессии (корреляции) (4) может быть использован для определения по методу максимального правдоподобия опорной точки p_0 для следящего измерителя.

Рассмотрим альтернативный способ построения следящего измерителя, в котором всем условиям выходных сигналов дискриминаторов удовлетворяет вычисляемый коэффициент регрессии квадратурных сигналов.

В случае широкополосных сигналов на входе следящего измерителя описанный способа определения знака рассогласования возможен при применении дискретного преобразователя Гильберта (ДПГ), обеспечивающего фазовый сдвиг спектральных составляющих реализаций сигналов на 90° в широкой полосе частот.

На рисунке 4 приведена импульсная характеристика физически реализуемого ДПГ со сдвигом импульсной характеристики вправо на $N - 1/2$ отсчетов, где $N = 31$ - число отсчетов усеченной конечной импульсной характеристики (КИХ), рассчитанной в среде пакета Matlab. На рисунках 5 приведены частотная и фазовая характеристики синтезированного фильтра Гильберта.

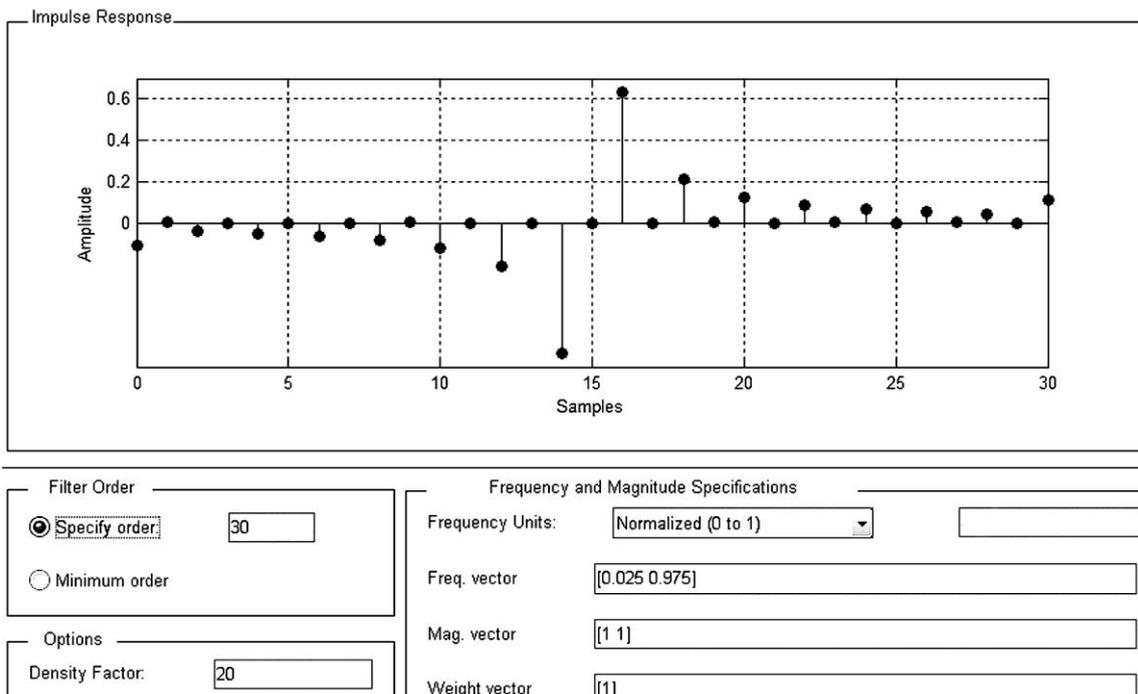


Рис. 4. Импульсная характеристика фильтра с 30 ответвлениями

– Magnitude (dB) and Phase Responses

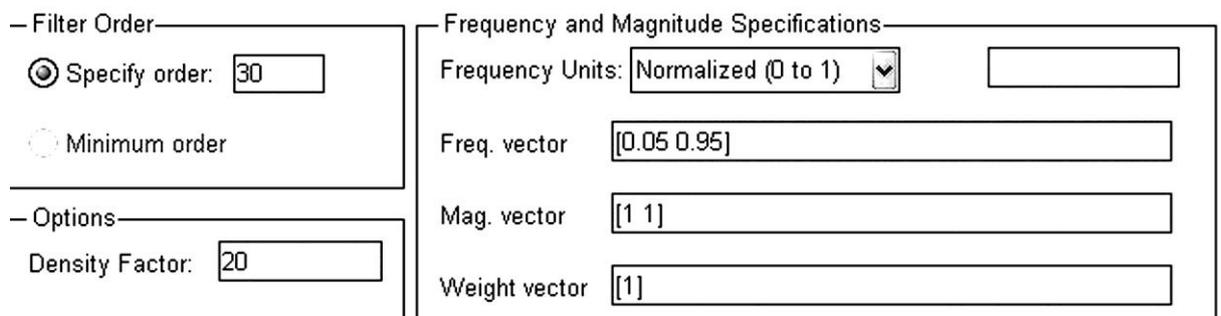
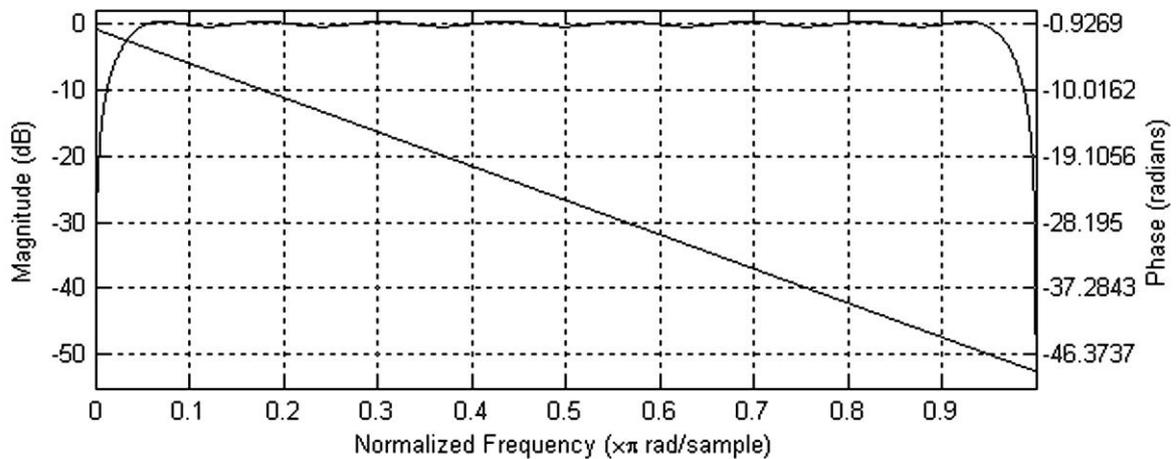


Рис. 5. Частотная и фазовая характеристики фильтра с 31 ответвлениями

Синтезированный фильтр может быть построен по схеме нерекурсивного фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ). Из-за сдвига импульсной характеристики вправо на $N - 1/2$ отсчетов, фильтр вносит запаздывание в отклик на сигнал на величину $\tau_3 = \Delta t \frac{N-1}{2}$, где Δt - интервал дискретизации. Поэтому исходный сигнал необходимо снимать с $N - 1/2$ отводов элементов задержки. На рисунке 6 показано формирование квадратур сигналов $S_1[n]$, $S_2[n]$ в КИХ преобразователе Гильберта фильтре с $N = 7$.

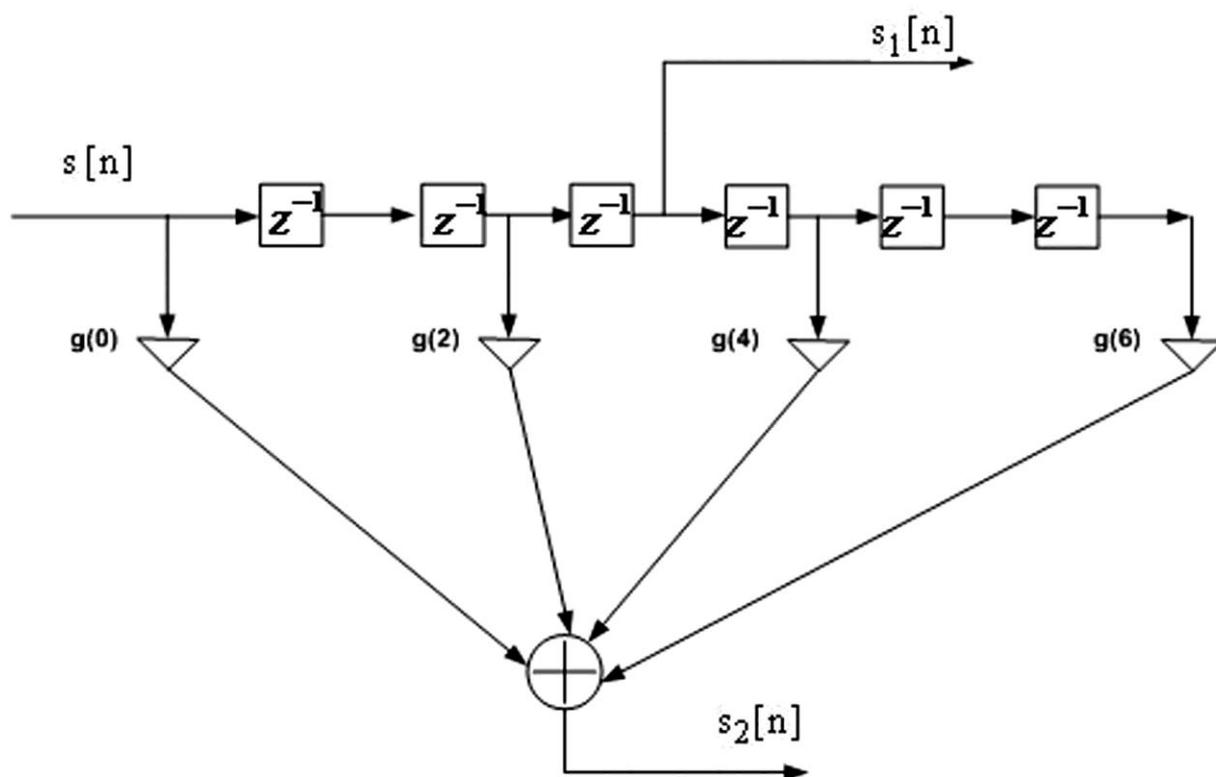


Рис. 6. КИХ-преобразователь Гильберта с $N=7$

На рисунке 6: $g(n)$ - отсчеты импульсной характеристики; Z^{-1} - элементы задержки дискретных отсчетов сигнала на один такт.

Обозначим через $s_1[n, p_0]$, $s_2[n, p_0]$, $n = \overline{1, N_c}$ квадратурные сигналы на выходе ДПГ при сдвиге максимума корреляционной функции на p_0 отсчетов, дискретизированные с интервалом Δt и представленные ограниченной выборкой длиной N_c . Приняв первый сигнал зависящим от параметра подстройки p , а второй сигнал

опорным, аналогично (4) можно записать следующее выражение для коэффициента регрессии квадратурных сигналов:

$$\hat{\beta}(p, p_0) = \left(\sum_{n=1}^N s_1 [n - p, p_0] s_2 [n, p_0] \right) \left(\sum_{n=1}^N s_2^2 [n, p_0] \right)^{-1}. \quad (5)$$

На рисунке 7 приведена зависимость $\hat{\beta}(p, p_0)$, выраженная через рассогласование $(p - p_0)$, для реализации, которая использовалась в качестве примера, рассмотренного выше.

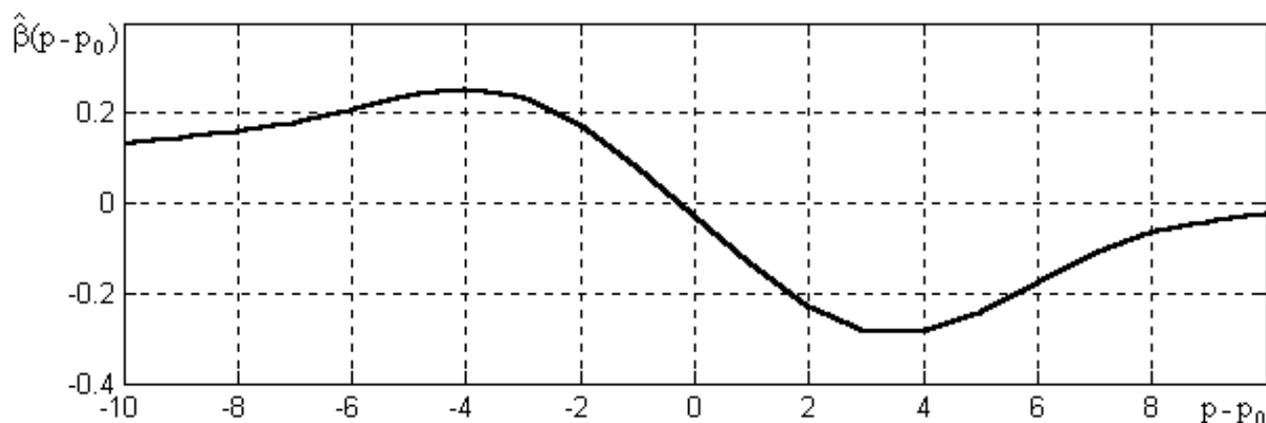


Рис. 7. Оценка коэффициента регрессии квадратурных сигналов

Расчет рассогласования и подстройка параметра p_0 осуществляется по алгоритму

$$\hat{p}_0[j] = \hat{p}_0[j - 1] + \varepsilon_p = \hat{p}_0[j - 1] + S \cdot \hat{\beta}(\hat{p}_0[j]), \quad (6)$$

где S – крутизна дискриминационной характеристики при малых рассогласованиях; j – индекс цикла слежения.

Полученный коэффициент регрессии удовлетворяет всем условиям выходных сигналов дискриминаторов и может быть использован для организации слежения за параметром p_0 .

На рисунке 8 приведены результаты работы следящего измерителя с ДПГ по реальным реализациям акустического шума вертолета. Абсолютная ошибка слежения не превысила двух отсчетов, относительная – 3,1%, СКО – 0,85. Моделирование проводилось по реальным сигналам при полете с увеличением скорости в сторону наблюдателя.

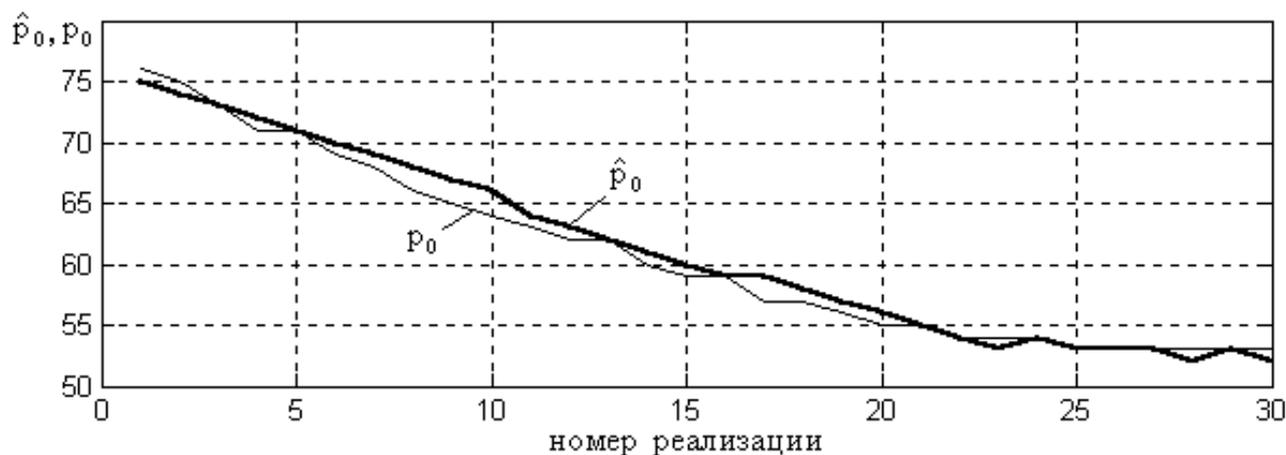


Рис. 8. Оценка параметра p_0 в процессе слежения с помощью следящего измерителя с ДПГ по последовательно записанным реализациям акустического шума вертолета

Квазиоптимальный способ реализации следящего измерителя имеет приемлемые показатели качества. Кроме этого, он проще в реализации оптимального дискриминатора.

Вопросы реализации адаптивного алгоритма распознавания акустических сигналов вертолета

На рисунке 9 представлена функциональная схема адаптивной НС, состоящей из блока выделения информативных признаков, блока адаптации, блока распознавания вертолета от самолета и танка. При использовании выходов Z [2], Z [3] система решает задачу классификации объектов.

Блок выделения информативных признаков (БВИП) содержит 16 идентичных каналов, образованных последовательно соединенными полосовым фильтром 3, детектором 4 и цифровым интегратором 5. В блок также входит блок нормировки (БН) 6 и модуль перестройки параметров фильтров (МППФ) 7. Входным сигналом блока является сигнал с одного из микрофонов акустического пеленгатора [5], прошедший предварительную обработку с помощью усилителя 1 и АЦП 2.

БВИП работает по принципу спектрального анализатора параллельного действия. Оценка отсчетов СПМ при моделировании работа адаптивной НС проводилась по выборке длиной $N = 4096$ отсчетов. Величина полосы пропускания фильтров была выбрана равной удвоенному разрешению анализируемых оценок СПМ и составляла 40 Гц, т.е. полосе пропускания соответствует один отсчет оценки СПМ. Настройкой фильтров на центральные частоты, соответствующие локальным экстремумам (максимумам и минимумам) СПМ, управляет модуль перестройки параметров фильтров (МППФ).

Перестройка фильтра на соответствующую центральную частоту осуществляется по оценке \hat{p}_0 , поступающей от блока адаптации.

Блок адаптации содержит ДПГ 8, управляемое устройство задержки 9, осуществляющее подстройку параметра p_0 по алгоритму (5), вычислители коэффициента регрессии (корреляции) 10, квадратор 11, устройство оценки дисперсии входного сигнала 12, делитель 13, сглаживающий фильтр 14 с усилением, определяемым выбранной крутизной S , блок оценки опорной точки БООТ 15, работающего по методу максимального правдоподобия, и сумматор 16.

Вычисление начального значения p_0 и крутизны дискриминационной характеристики S проводится при захвате цели акустическим пеленгатором [5] по сигналу «цель в луче». По положению глобального максимума $\hat{\beta}(p, p_0)$ (4) по методу максимального правдоподобия определяется опорное значение p_0 , затем на выходе блока 14 формируется ошибка рассогласования в окрестности p_0 .

В результате теоретических и экспериментальных статистических исследований в [1] обоснована рациональная структура НС со следующими параметрами:

число входов	16;
число выходов	3;
число слоев	2;
число нейронов в слоях	5, 3;
функция активации	ступенчатая;

вероятность правильного распознавания: объекта типа «вертолет» – 0,97.

Блок распознавания типа цели БРТЦ (рисунок9) представляет собой двухслойную НС. Первый слой содержит шестнадцать распределительных элементов 19 и пять нейронов 20, второй слой – пять распределительных элементов 21 и три нейрона 22. Блок также содержит логические элементы И 23, которые формируют результат распознавания на выходе БРТЦ только при наличии цели в луче акустического пеленгатора, т.е. при наличии сигнала «цель в луче», поступающего от канала обнаружения акустического пеленгатора [5]. Входными сигналами блока являются нецентрированные элементы вектора информативных признаков, вычисленные в БВИП.

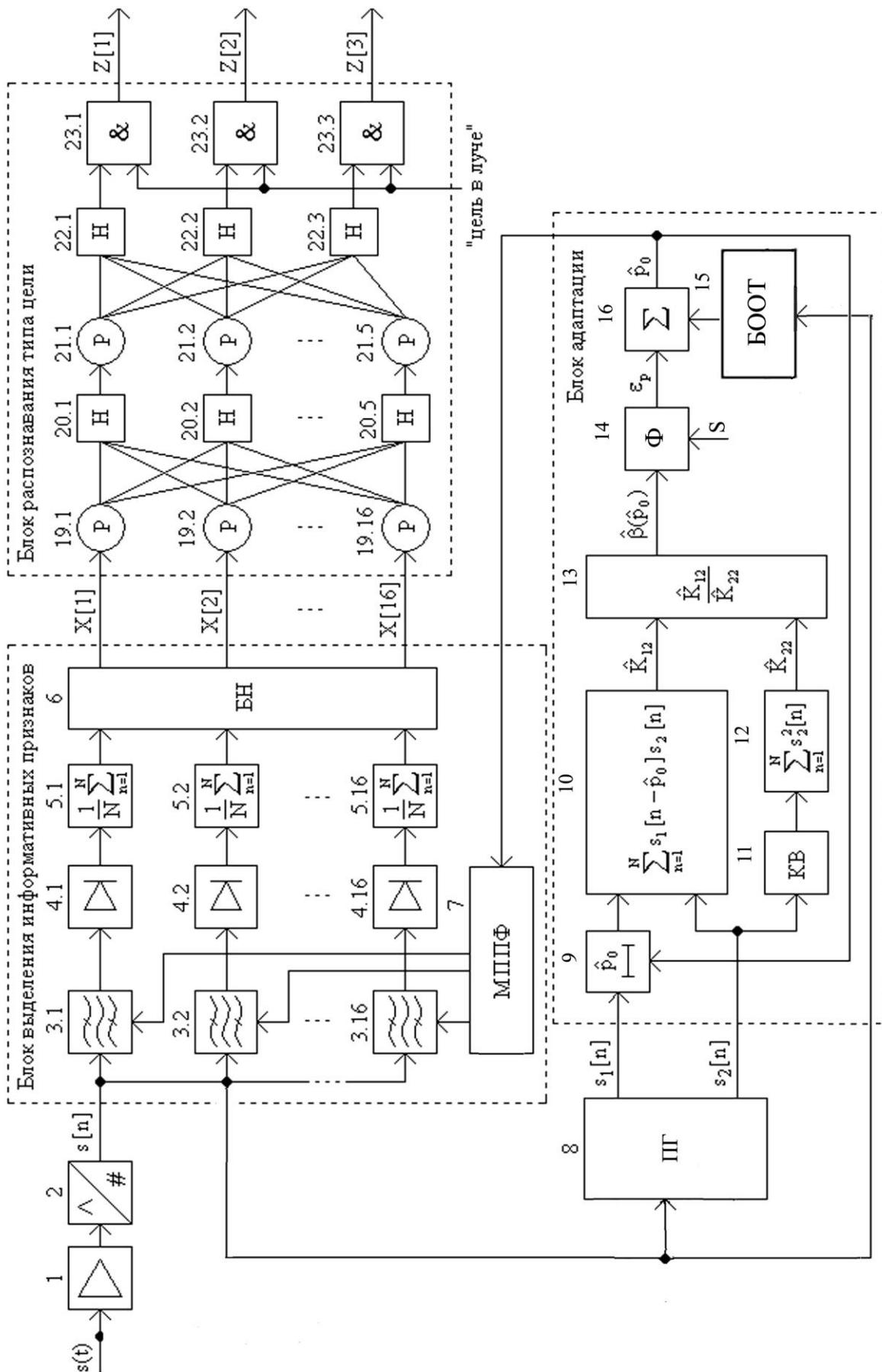


Рис. 9. Функциональная схема адаптивной НС

Заключение

В статье рассмотрены вопросы адаптации НС, решающей задачу распознавания широкополосного акустического сигнала вертолета от сигналов самолета и танка.

Возможное изменение частоты вращения винта вертолета в некотором диапазоне в зависимости от режима полета, наличие у различных моделей вертолетов собственного диапазона изменения частоты вращения винта и влияние эффекта Доплера на спектральные характеристики при изменении скорости полета приводят к смещению локальных экстремумов СПМ акустических сигналов вертолета.

Обеспечение инвариантности используемого информативного признака, отсчетов локальных экстремумов СПМ, к указанным факторам достигается дополнением структуры ПВМ блоком адаптации, реализованным как следящий измеритель за кажущейся частотой $f_{(1)}$ следования лопастей на основании связи между частотой $f_{(1)}$, периодом следования лопастей $T_{(1)}$ и видом АКФ акустического сигнала вертолета.

Применение ДПГ на входе блока адаптации и вычисление взаимных регрессионных характеристик квадратурных выходных сигналов позволяет получить дискриминационную характеристику контура слежения. При моделировании работы следящих измерителей по реальным сигналам показано, что абсолютная ошибка слежения не превысила 2-х интервалов между дискретными отсчетами сигнала отсчетов, относительная – 3,1%.

Список литературы

1. Астапов Ю.М., Козлов В.И., Соболева Н.С., Хохлов В.К. Автономные информационные и управляющие системы: Труды кафедры «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. В 4 т. Т.1 / под ред. А.Б. Борзова. М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2011. 468 с.
2. Хохлов В.К. Начальные регрессионные статистические характеристики интервалов между нулями случайных процессов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 9. С. 132-147. DOI: [10.7463/0914.0726720](https://doi.org/10.7463/0914.0726720)
3. Павлов Г.Л., Хохлов В.К. Нейросетевые алгоритмы в задаче классификации объектов по их акустическим излучениям // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 5. С. 247-258. DOI: [10.7463/0512.0367620](https://doi.org/10.7463/0512.0367620)
4. Павлов Г.Л., Хохлов В.К. Адаптация нейросетевого алгоритма к скоростям движения классифицируемых по акустическим излучениям объектов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 10. С. 241-250. DOI: [10.7463/1012.0462849](https://doi.org/10.7463/1012.0462849)
5. Хохлов В.К., Гулин Ю.Ю. Выбор информативных признаков в автономных информационных системах с нейросетевыми трактами обработки сигналов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2003. № 3. С. 70-83.

6. Tang Haifeng, Sun Degang. Real Time Multisensor Target Recognition Based on DSP // 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments (ICEMI '07). IEEE Publ., 2007. P. 4-24 – 4-28. DOI: [10.1109/ICEMI.2007.4351127](https://doi.org/10.1109/ICEMI.2007.4351127)
7. Elshafei M., Akhtar S., Ahmed M.S. Parametric models for helicopter identification using ANN // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2000. Vol. 36, iss. 4. P. 1242-1252. DOI: [10.1109/7.892672](https://doi.org/10.1109/7.892672)
8. Du Yinggang, Lu Jinhui, Shi xiangquan, GuYalin. Target identification based on the optimal base number // Proceedings 1998 Fourth International Conference on Signal Processing (ICSP '98). Vol. 1. IEEE Publ., 1998. P. 271-274. DOI: [10.1109/ICOSP.1998.770204](https://doi.org/10.1109/ICOSP.1998.770204)
9. Moukas P., Simson J., Norton-Wayne L. Automatic Identification of Noise Pollution Sources // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1982. Vol. 12, iss. 5. P. 622-634. DOI: [10.1109/TSMC.1982.4308881](https://doi.org/10.1109/TSMC.1982.4308881)
10. Хохлов В.К., Пылаев В.А., Волчихин И.В., Степаненко Н.В. Пеленгатор источников акустических излучений: пат. 2048678 РФ. 1995.

Adaptation of the Neural Network Recognition System of the Helicopter on Its Acoustic Radiation to the Flight Speed

V.K. Hohlov^{1,*}, Yu.Yu. Gulin¹, I.V. Muratov¹

*khokhlov2010@yandex.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: neural network, neural adaptation network, informative signs, recognition, helicopter, passive acoustic information system, power spectral density

The article concerns the adaptation of a neural tract that recognizes a helicopter from the aerodynamic and ground objects by its acoustic radiation to the helicopter flight speed. It uses non-centered informative signs-indications of estimating signal spectra, which correspond to the local extremes (maximums and minimums) of the power spectrum of input signal and have the greatest information when differentiating the helicopter signals from those of tracked vehicles. The article gives justification to the principle of the neural network (NN) adaptation and adaptation block structure, which solves problems of blade passage frequency estimation when capturing the object and track it when tracking a target, as well as forming a signal to control the resonant filter parameters of the selection block of informative signs. To create the discriminatory characteristics of the discriminator are used autoregressive statistical characteristics of the quadrature components of signal, obtained through the discrete Hilbert Converter (DGC) that perform

Mathematical modeling of the tracking meter using the helicopter signals obtained in real conditions is performed. The article gives estimates of the tracking parameter when using a tracking meter with DGC by sequential records of realized acoustic noise of the helicopter. It also shows a block-diagram of the adaptive NN. The scientific novelty of the work is that providing the invariance of used informative sign, the counts of local extremes of power spectral density (PSD) to changes in the helicopter flight speed is reached due to adding the NN structure and adaptation block, which is implemented as a meter to track the apparent passage frequency of the helicopter rotor blades using its relationship with a function of the autoregressive acoustic signal of the helicopter.

Specialized literature proposes solutions based on the use of training classifiers with different parametric methods of spectral representations, in particular, linear prediction and cepstrum, as well as methods based on wavelet transformations and robust learning. Adaptive approach allows solving tasks in a wide range of changing helicopter speeds.

References

1. Astapov Yu.M., Kozlov V.I., Soboleva N.S., Khokhlov V.K.; Borzov A.B., ed. Avtonomnye informatsionnye i upravliaiushchie sistemy: Trudy kafedry "Avtonomnye informatsionnye i upravlyayushchie sistemy" MGTU im. N.E. Baumana. V 4 t. T. 1 [Autonomous information and control systems: Proc. of department "Autonomous information and control systems" of Bauman MSTU. In 4 vols. Vol. 1]. Moscow, JSC "Inzhener" Publ., JSC "Oniko-M" Publ., 2011. 468 p. (in Russian).
2. Khokhlov V.K. The Initial Regression Statistical Characteristics of Intervals Between Zeros of Random Processes. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 9, pp. 132-147. DOI: [10.7463/0914.0726720](https://doi.org/10.7463/0914.0726720) (in Russian).
3. Pavlov G.L., Khokhlov V.K. Neural network algorithms for classification problem of objects according to their acoustic radiation. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2012, no. 5, pp. 247-258. DOI: [10.7463/0512.0367620](https://doi.org/10.7463/0512.0367620) (in Russian).
4. Pavlov G.L., Khokhlov V.K. Adaptation of neural network algorithm to velocities classified by acoustic radiation facilities. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2012, no. 10, pp. 241-250. DOI: [10.7463/1012.0462849](https://doi.org/10.7463/1012.0462849) (in Russian).
5. Khokhlov V.K., Gulin Iu.Iu. Informative Signs Selection in Autonomous Information Systems with Neuron Net Paths of Signal Processing. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering*, 2003, no. 3, pp. 70-83. (in Russian).
6. Tang Haifeng, Sun Degang. Real Time Multisensor Target Recognition Based on DSP. 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments (ICEMI '07). IEEE Publ., 2007, pp. 4-24 – 4-28. DOI: [10.1109/ICEMI.2007.4351127](https://doi.org/10.1109/ICEMI.2007.4351127)
7. Elshafei M., Akhtar S., Ahmed M.S. Parametric models for helicopter identification using ANN. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2000, vol. 36, iss. 4, pp. 1242-1252. DOI: [10.1109/7.892672](https://doi.org/10.1109/7.892672)
8. Du Yinggang, Lu Jinhui, Shi xiangquan, GuYalin. Target identification based on the optimal base number. *Proceedings 1998 Fourth International Conference on Signal Processing (ICSP '98). Vol. 1*. IEEE Publ., 1998, pp. 271-274. DOI: [10.1109/ICOSP.1998.770204](https://doi.org/10.1109/ICOSP.1998.770204)
9. Moukas P., Simson J., Norton-Wayne L. Automatic Identification of Noise Pollution Sources. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1982, vol. 12, iss. 5, pp. 622-634. DOI: [10.1109/TSMC.1982.4308881](https://doi.org/10.1109/TSMC.1982.4308881)
10. Khokhlov V.K., Pylaev V.A., Volchikhin I.V., Stepanenko N.V. Pelengator istochnikov akusticheskikh izluchenii [Direction finder of sources of acoustic radiation]. Patent RF, no. 2048678, 1995. (in Russian).