

Метод распознавания объектов наблюдения по сигнатурам следящего резонансного фильтра полиномиального импульса

The method of recognition of surveillance objects based on signatures of tracking resonance filter of polynomial impulse

УДК 621.391.2; 004.932.72.1

Получено: 23.05.2022

Одобрено: 02.06.2022

Опубликовано: 25.06.2022

Черенок Н.Г.

Канд. техн. наук, доцент, доцент, Михайловская военная артиллерийская академия,
e-mail: ncherenok@ya.ru

Cherenok N.G.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Mikhailovskaya Military Artillery Academy
e-mail: ncherenok@ya.ru

Аннотация.

Предлагается новый метод распознавания, основанный на использовании зондирующих сигналов специального вида, формируемых классическими ортогональными полиномами, и разработанной для таких импульсов схемы обработки (следящего резонансного фильтра), позволяющей сохранить информацию о фазе отражённого импульса. В результате работы системы: полиномиальный сигнал – следящий резонансный фильтр получаем фазовые траектории в трёхмерной системе координат (новый вид сигнатур). Для примера представлены результаты моделирования трехмерных сигнатур при разных радиальных скоростях объектов наблюдения и начальных фаз отраженного полиномиального импульса.

Ключевые слова: полиномиальный сверхширокополосный импульс, следящий резонансный фильтр, сигнатуры в 3D пространстве.

Abstract

A new method of recognition is proposed which is based on the application of sounding signals of the special kind which are formed by classical orthogonal polynomials and a treatment scheme (of the tracking resonance filter), developed for such impulses that makes it possible to save the information on the phase of the reflected impulse. As a result of the work of the system: the polynomial signal -the tracking resonance filter, we obtain phase trajectories in the three-dimensional system of coordinates (a new kind of signatures). As an example, results of modelling three-dimensional signatures at different radial speeds of observation objects and starting phases of the reflected polynomial impulse are presented.

Keywords: polynomial ultra-wideband impulse, tracking resonance filter, signatures in the 3D-space.

Введение

В настоящее время радиолокационные системы, зарождение которых было связано с потребностями вооруженных сил [1 - 4], широко применяются в различных отраслях народного хозяйства, медицине, астрономии и космонавтике. При этом одним из важнейших направлений развития радиолокационных систем различного назначения является совершенствование характеристик соответствующих систем распознавания.

Радиолокационное распознавание – это получение характеристик различных объектов, выбор информативных и устойчивых признаков и принятие решения о принадлежности этих объектов к тому или иному классу (типу). Для локационных характеристик используется специальный термин – сигнатура (набор характеристик отражённого целью сигнала, принятого средствами наблюдения).

Для радиолокационных систем, применяемых при управлении транспортом, мониторинге космического пространства, метеорологии и др. областях, связанных с мониторингом подвижных объектов в качестве дополнительной информации в радиолокации используются характеристики создаваемого этими объектами поля вторичного излучения. Эти характеристики, как правило, зависят от ориентации наблюдаемого объекта, параметров его движения, размеров, а также от характеристик зондирующих сигналов и способа обработки [5]. Школа профессора Ширмана Я.Д. систематизировала используемые признаки [6], однако, без сверхширокополосных (СШП) сигналов, авторы [5] уже включили СШП в классификацию, но ограничились обозначением направления. Между тем, проблема повышения информативности радиолокационного наблюдения инициировала пристальное внимание к использованию СШП зондирующих сигналов.

Особенностью используемых в настоящее время СШП сигналов является их малая длительность. Наносекундный зондирующий импульс предопределил и новые методы распознавания: метод, основанный на кумулянтной обработке, которая использует статистики высокого порядка [7], метод, основанный на использовании набора полюсов на комплексной плоскости [8] и др.

Уменьшение длительности зондирующего импульса при прочих равных условиях сокращает максимальную дальность обнаружения цели. Чем меньше длительность зондирующего импульса при неизменной его амплитуде, тем меньше общая энергия сигнала и, следовательно, тем меньше максимальная дальность обнаружения цели. Происходит изменение одного из важнейших параметров радиолокационной системы.

Описание метода

Новое направление развития СШП радиолокационных систем исключает эту проблему благодаря носителям специального вида: импульсам, формируемым классическими ортогональными полиномами. Они используются не в качестве базисных функций для разложения сигнала, как ранее было принято, а в качестве самых настоящих зондирующих сверхширокополосных импульсов. Другими словами, материализованных базисных функций. Из них наиболее похожими на радиоимпульсы являются базисные функции, описываемые полиномами Чебышёва.

Классические ортогональные многочлены Чебышёва первого рода без весовой функции, как носители информации в новых системах локации и передачи команд управления, определяются соотношением [9, с. 767-768]:

$$T_n(x) = \cos[n \cdot \arccos(x)], |x| \leq 1, \quad (1)$$

где $x = 2t / \tau$ – относительное время;

$n = 1, 2, 3, \dots$ – номер сигнала;

τ – длительность импульса.

Временная и спектральная диаграммы импульса Чебышёва первого рода без весовой функции с номером $n = 32$ приведены на рис. 1 и 2.

В таких импульсах при постоянной амплитуде полная фаза изменяется по закону арккосинуса, превращая их в негармонические с нелинейной мгновенной частотой.

Мгновенная частота имеет две степени свободы: номер импульса – n и длительность импульса – τ . Она минимальна в середине импульса и возрастает к его краям (рис. 1). Кроме того, импульсы Чебышёва сверхширокополосны [10].

Длительность импульса определяется по заданной дальности лоатора, а частотный диапазон устанавливается номером носителя – n .

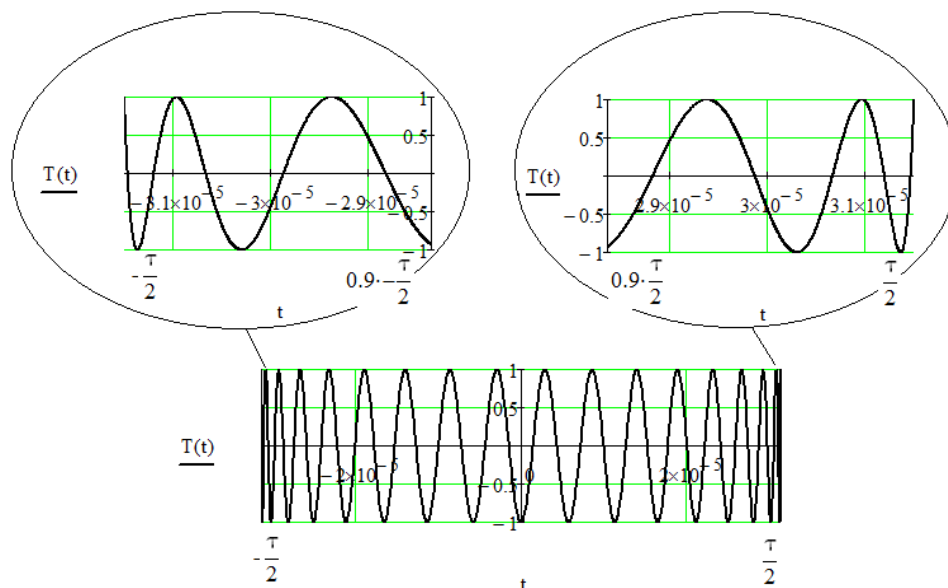


Рис. 1. Временная диаграмма импульса Чебышёва первого рода без весовой функции

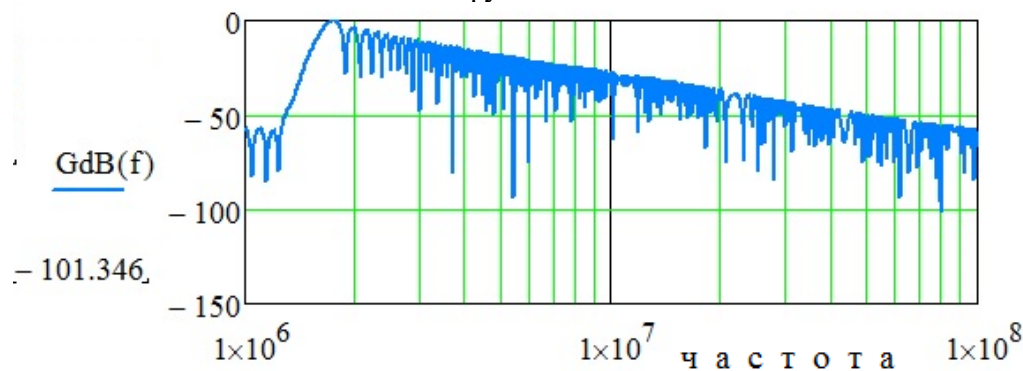


Рис. 2. Спектральная диаграмма импульса Чебышёва первого рода без весовой функции

Для локационных систем синтезирована схема обработки в виде следящего резонансного фильтра (рис. 3) [10, с. 80-82].

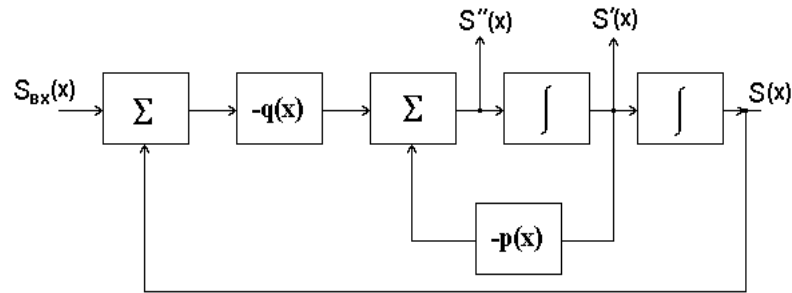


Рис. 3. Структурная схема следящего резонансного фильтра полиномиального импульса

Коэффициенты $p(x)$ и $q(x)$ настраивают фильтр в резонанс с мгновенной частотой ожидаемого сигнала, сохраняя фазу обрабатываемого импульса. Поэтому фильтр получил название - следящий резонансный фильтр (СРФ).

Наряду с классическим выходом $S(x) \rightarrow s(t)$ СРФ позволяет получить сигналы, соответствующие его первой $S'(x) \rightarrow ds(t)/dt$ и второй $S''(x) \rightarrow d^2s(t)/dt^2$ производным.

Эпюры напряжений трёх выходов следящего резонансного фильтра для импульса с номером $n = 52$, полученные по программе обработки СРФ [11], представлены на рис. 4.

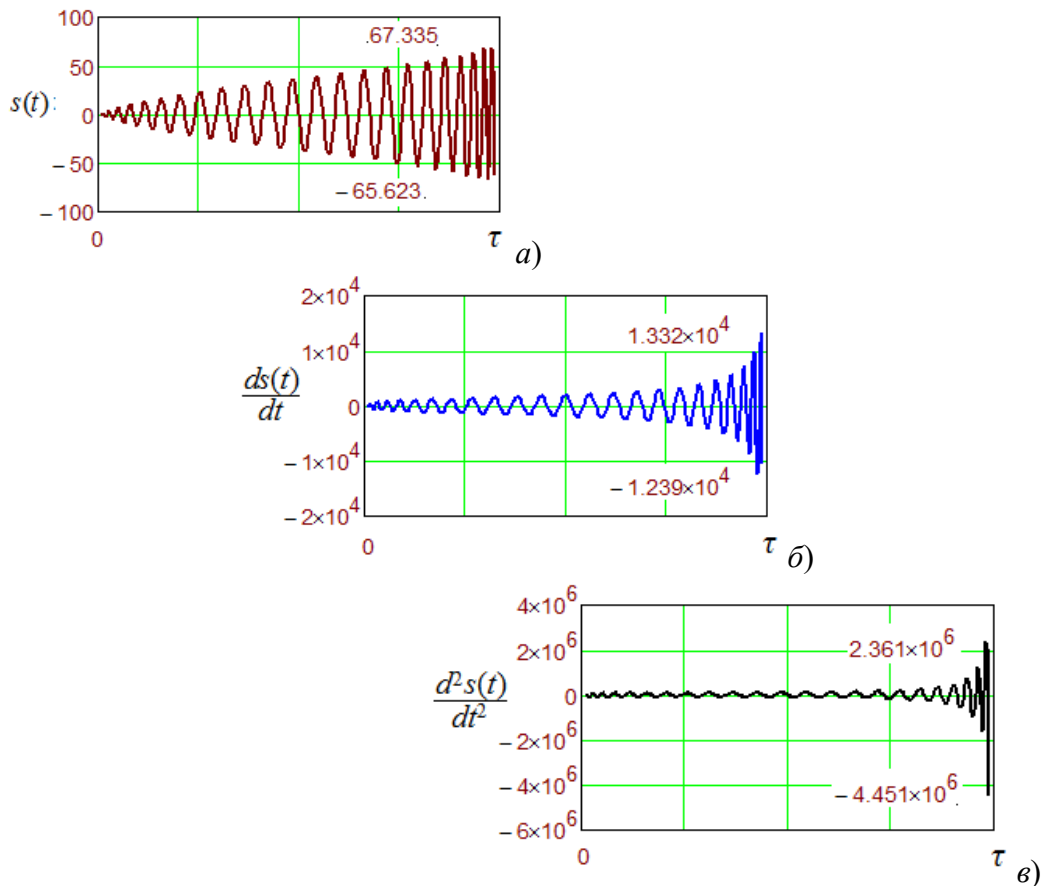


Рис. 4. Выходы СРФ: стандартный – а); первой производной – б); второй – в)

Задавая каждому сигналу СРФ свой орт трёхмерного пространства, получаем новую сигнатуру – объёмную. Предлагаемый метод можно считать развитием метода «сигнатур метрического порядка» [12], в котором используются

два сигнала: первый с выхода фазового детектора и второй – его производная по времени. Оцифрованный сигнал с выхода фазового детектора подвергается процедуре дифференцирования, относящейся к некорректным задачам по определению. Оба массива формируют на плоскости соответствующую сигнатуру. По изображению её на экране определяется тип объекта. При этом локатор использует узкополосный сигнал с гармонической несущей.

Применяя систему: полиномиальный импульс и следящий резонансный фильтр – располагаем тремя сигналами без потери фазы отражённого импульса.

Для моделирования возможностей новой системы в (1) введена начальная фаза φ – (соотношение 2).

$$T_n(t) = \cos \left[n \cdot \arccos \left(\frac{2 \cdot t}{\tau \cdot v} \right) + \varphi \right]. \quad (2)$$

Радиальная скорость в соотношении (2) учитывается изменением длительности импульса – τ в соответствии с пособием [13, с. 50-51]:

$$v = \frac{1 - \frac{v_r}{c}}{1 + \frac{v_r}{c}}; c - \text{скорость света.}$$

На рис. 5 представлены сигнатуры в 3D варианте при $V_T = 50$ км в час. При моделировании относительное время переведено в реальное. Длительность импульса равна 10 мкс. Длина волны $\lambda \approx 5$ см.

Сигнатуры получены путём интерполирования фазовых траекторий, сформированных в трёхмерном пространстве [10, с. 98-100] импульсами с выходов СРФ. Горизонтальная плоскость образована сигналом стандартного выхода СРФ – $s(t)$ и его первой производной – $ds(t)/dt$. Ось z образована второй производной – $d^2s(t)/dt^2$.

Таким образом, смоделированы сигнатуры объектов с разными значениями и знаками радиальной скорости (рис. 5 и 6). Представлены также сигнатуры, отличающиеся начальными фазами φ отражённого сигнала. За начальное значение фазы принято $\varphi = 0$.

При отражении от металлической поверхности фаза изменяется на π радиан. Соответствующие сигнатуры представлены на рис. 5б), з) и 6б), з).

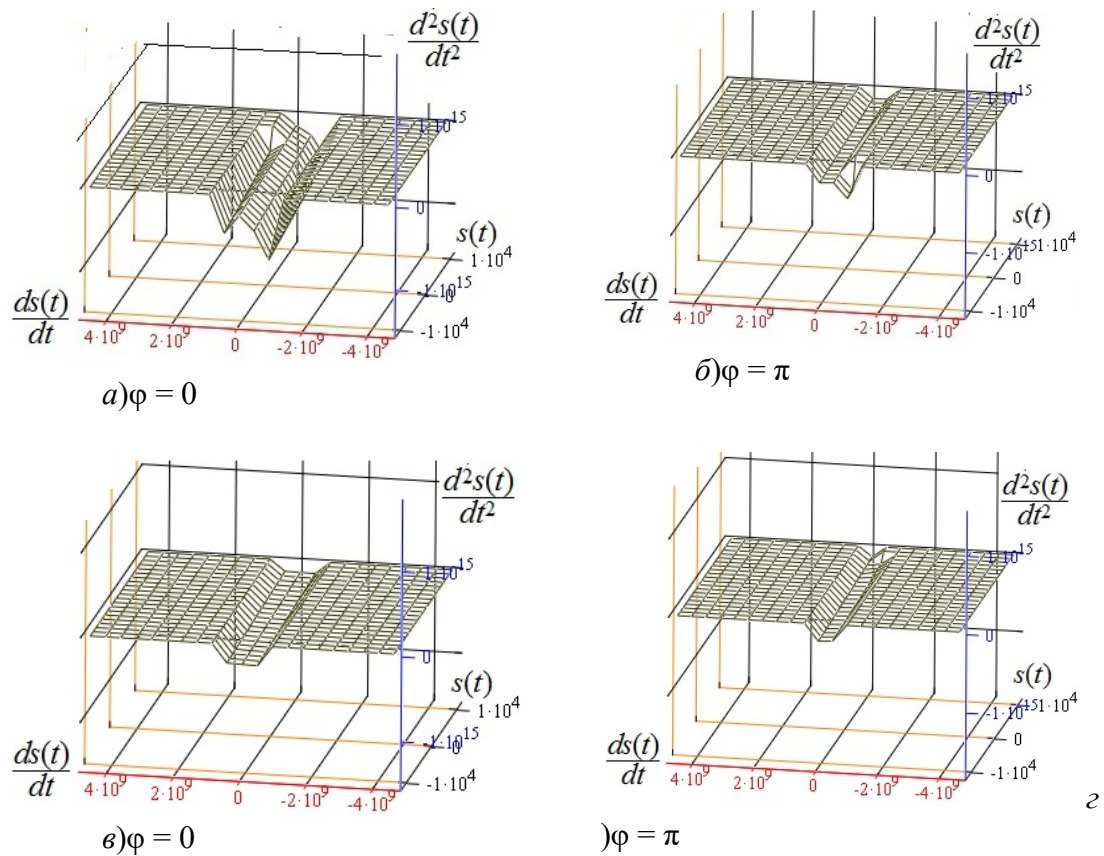


Рис. 5. Сигнатуры при $V_r = 50$ км/час; растяжение импульса ($V_r > 0$) – а) и б); сжатие импульса ($V_r < 0$) – в) и г)

Сигнатуры объектов с радиальной скоростью шесть километров в час представлены на рис. 6 и 7.

Сигнатуры при начальной фазе отражённого сигнала, равной $-\pi/4$ радиана, приведены на рис. 8 для двух значений радиальной скорости.

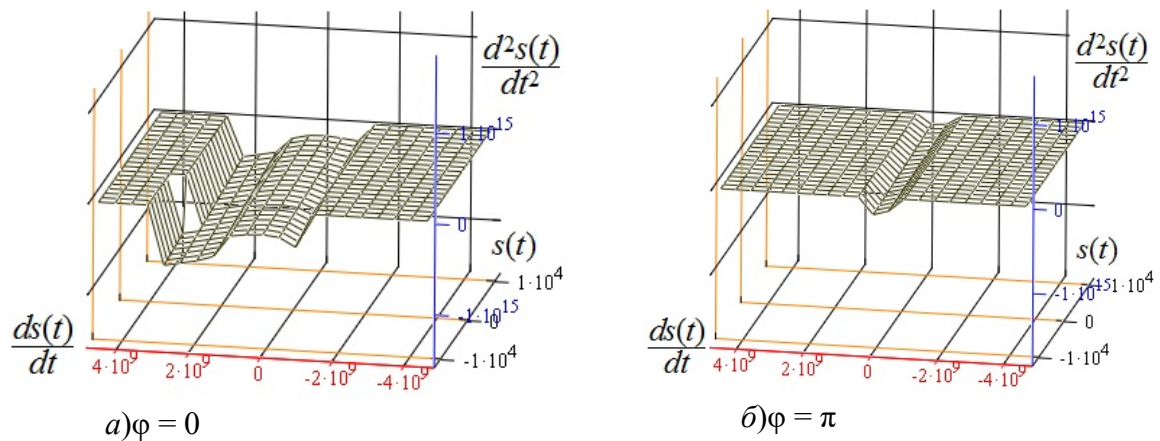


Рис. 6. Сигнатуры при $V_r = 6$ км/час; растяжение импульса ($V_r > 0$) – а) и б)

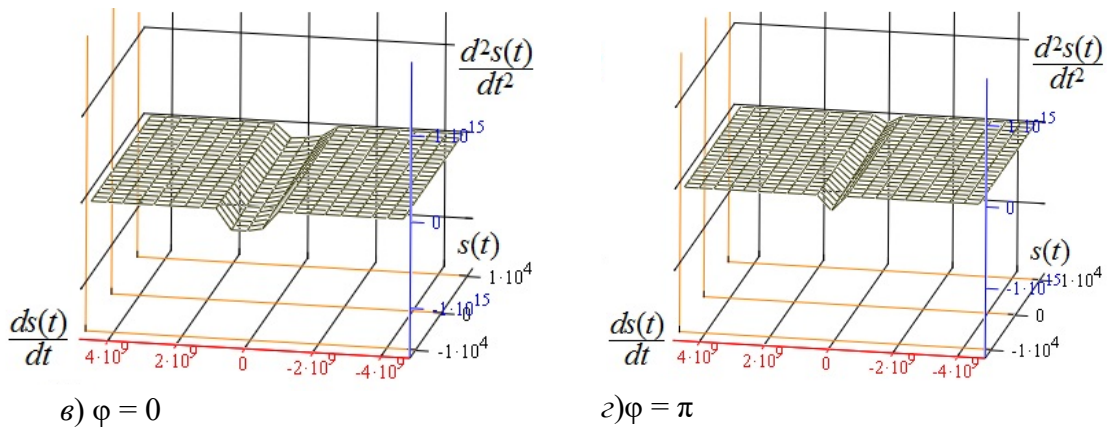
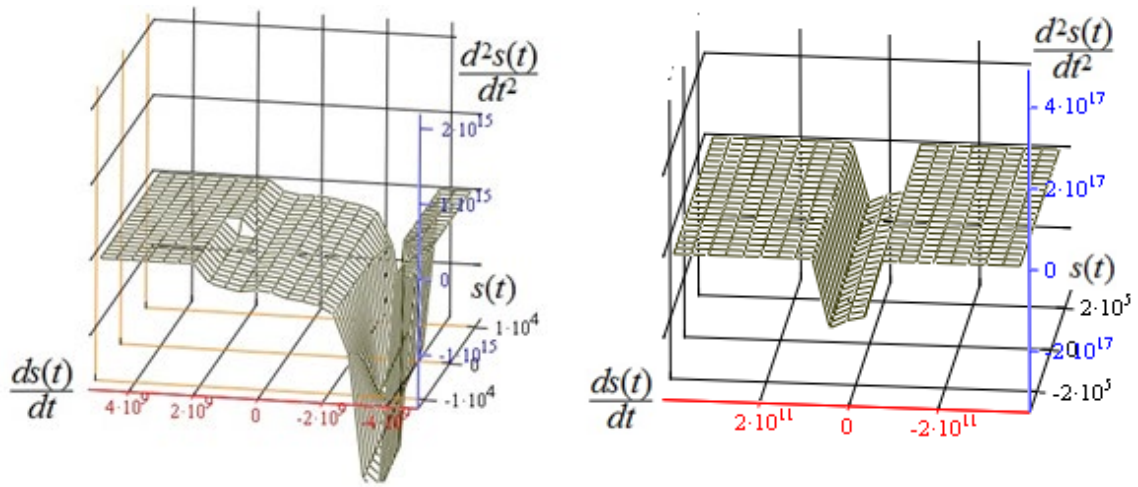


Рис. 7. Сигнатуры при $V_r = 6$ км/час; сжатие импульса ($V_r < 0$) – в) и з)



$V_r = 50$ км в час; $\varphi = -\pi/4$

$V_r = 6$ км в час; $\varphi = -\pi/4$

Рис. 8. Сигнатуры при начальной фазе принятого импульса, равной – 45 градусов

Между сигнатурами, даже визуально, наблюдаются явные различия. Это позволяет рассматривать метод формирования представленных сигнатур в качестве основы нового алфавита классов для систем распознавания объектов наблюдения соответствующей направленности.

В предлагаемой системе возможно осуществить автоматизацию процесса распознавания.

В основе представленного метода лежит использование следящего резонансного фильтра для обработки отражённого полиномиального СШП импульса. Она многоканальна по определению, так как заранее неизвестно время прихода отражённого сигнала. Чтобы исправить эту особенность, добавляем канал обнаружения, использующий классическую свёртку при обработке зондирующего импульса Чебышёва с чётным номером [14].

Выводы

Представленный метод в своей основе отличается от всех известных методов распознавания и идентификации.

Во-первых, все известные варианты используют либо импульсы с гармоническим носителем (узкополосные или широкополосные), либо сверхширокополосные импульсы наносекундной длительности, ограничивающие дальность действия.

Во-вторых, метод использует новый СШП полиномиальный носитель, длительность которого определяется заданной дальностью, а частотный диапазон – номером переносчика.

В-третьих, системы, использующие импульсы Чебышёва, более помехоустойчивы к шумовым и гармоническим помехам [10, 14].

В-четвёртых, устраняется обусловленность задачи [15], т.е. чувствительность ее к малым изменениям входных данных, которая имеет место при формировании «сигнатур метрического порядка» [12].

В-пятых, предлагаемый метод может быть встроен в комбинированную систему распознавания, изложенную в статье [16].

И, наконец, у полиномиального СШП импульса, согласно представлениям [17], большая информативность.

Литература

1. *Анисимов Е.Г.* Сущность и проблемы управления обеспечением безопасности и обороной государства / *Е.Г. Анисимов [и др.]* // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 3 (93). С. 3-10.

2. *Солохов И.В.* Проблемы научно-методического обеспечения межведомственного информационного взаимодействия // Военная мысль. 2017. № 12. С. 45-51.

3. *Бажин Д.А., Гарькушев А.Ю., Сазыкин А.М.* Модель оценки эффективности информационного обеспечения применения высокоточного оружия в контртеррористических операциях // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2015. № 1-2 (79-80). С. 44-53.

4. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Самоленков В.А.* Введение в теорию эффективности боевых действий ракетных войск и артиллерии.- Москва: Военная академия генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации. 2008. - 180 с.

5. *Небабин В.Г.* Методы и техника радиолокационного распознавания [Текст] / В.Д. Небабин, В.В. Сергеев.- М.: Радио и связь, 1984. 152 с.

6. *Ширман Я.Д.* Методы радиолокационного распознавания и их моделирование [Текст] / Я.Д. Ширман, С.А. Горшков, С.П. Лещенко, Г.Д. Братченко, В.М. Орленко // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники, 1996. № 11. С. 3-62.

7. *Кузнецов Ю.В.* Распознавание целей в сверхширокополосной радиолокации. [Текст] / Д.И. Воскресенский, А.И. Канащенков, Ю.В. Кузнецов // Активные фазированные антенные решетки. М.: Радиотехника, 2004. Гл. 9. С. 234-319.

8. *Кузнецов Ю.В.* Сигнатурная идентификация объектов в сверхширокополосной радиолокации [Текст] / Ю.В. Кузнецов, А.Б. Баев, А.В. Александров // Доклады 5-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение».- М.: МЦНТИ, 2003. С. 249-251.

9. *Корн Г.* Справочник по математике. Для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн / Пер. с англ.- М.: Наука, 1978. 832 с.

10. *Черенок Н.Г.* Сверхширокополосные переносчики, формируемые классическими ортогональными полиномами [Текст]: Монография / Н.Г. Черенок.- СПб.: МВАА, 2018. 210 с.

11. *Черенок Н.Г.* Моделирование обработки полиномиального импульса следящим резонансным фильтром / Н.Г. Черенок, Г.Н. Ульянов, И.А. Круглов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612509, 25.02.2020. Заявка № 2020611464 от 15.02.2020.

12. *Вовк А.И.* Метод анализа сигналов выхода канала фазового детектирования когерентно-импульсной РЛС на фазовой плоскости с использованием сигнатур метрического порядка при распознавании типа движущихся целей [Текст] / А.И. Вовк, А.С. Фатеев, Р.Э.Пашенко // Системи обробки інформації, 2009, вип. 2 (76). С. 19–30.

13. *Ширман Я.Д.* Теоретические основы радиолокации [Текст]: учеб. пособие для вузов / Я.Д. Ширман, В.Н. Голиков, И.Н. Бусыгин, В.Н. Манжос, Н.Н. Минервин; под ред. Я.Д. Ширмана.- М.: Радио и связь, 1970. 560 с.

14. *Ульянов Г.Н.* Обеспечение помехоустойчивости навигационных постов в многопозиционных разностно-дальномерных системах [Текст] / Г.Н. Ульянов, Н.Г. Черенок, А.В. Лыков // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму, 2020, № 1-2 (139-140). С. 43-49.

15. *Петров И.Б.* Лекции по вычислительной математике: учеб. пособие [Текст] / И.Б. Петров, А.И. Лобанов.- М.: Интернет-Университет Информационных технологий. Бинум. Лаборатория знаний, 2008. С. 16-28.

16. *Тебекин А. В.* Развитие методов принятия управленческих решений на основе теории распознавания образов и систем распознавания на их основе [Текст] / А.В. Тебекин, П.А. Тебекин, А.А. Егорова // Журнал технических исследований, Том 7. № 4, 2022. С. 27-40.

17. *Костров Б.В.* Технологии физического уровня передачи данных [Текст] / Б.В. Костров.- М.: Академия, 2018. 217 с.