

УДК 004

DOI 10.51691/2541-8327\_2023\_5\_7

## **ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В АВТОМОБИЛЬНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАТЧИКАХ**

**Шишов М.Д.**

*студент,*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана,  
Москва, Россия*

**Федоренко Д.В.**

*студент,*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана,  
Москва, Россия*

### **Аннотация**

В данной работе рассмотрены вопросы реализации перспективной системы помощи водителю на базе радиолокационных датчиков с линейно-частотной модуляцией. Приведены основные этапы первичной обработки радиолокационной информации: обнаружение, вычисление дистанции, вычисление скорости и оценка угла цели. Описаны алгоритмы вторичной обработки данных: селекция целей, кластеризация, расчет уравнения прямой для барьерных ограждений и траекторная фильтрация. Проведена апробация описанных алгоритмов.

**Ключевые слова:** автомобильный радар, РЛД, диаграммообразование, ЛЧМ, селекция целей, кластеризация, траекторный фильтр.

***PROCESSING OF RADAR INFORMATION IN VEHICLE RADAR SENSORS***

***Shishov M.D.***

*student,*

*Bauman Moscow State Technical University,*

*Moscow, Russia*

***Fedorenko D.V.***

*student,*

*Bauman Moscow State Technical University,*

*Moscow, Russia*

## **Abstract**

The paper, the issues of implementing a driver assistance system based on Linear-Frequency Modulated radar. The main stages of radar signal processing are considered: detection, range calculation, calculation of velocity and direction of arrival. Algorithms for secondary data processing are described: target selection, clustering, calculation of the equation of a straight line for barrier fences and trajectory filtering. The described algorithms were tested.

**Keywords:** radar, beamforming, LFM, target selection, clustering, tracking.

## **Введение**

Система помощи водителю обеспечивает преимущества в таких параметрах как, безопасность и комфортность вождения. Функции таких систем включают в себя обнаружение объектов в “слепых зонах”, ассистент движения задним ходом, адаптивный круиз-контроль и т.д. Для реализации этих технологий требуются различные датчики для обнаружения препятствий в окружающей среде и отслеживания их скорости и положения во времени.

Радиолокационные датчики (РЛД) с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) позволяют определять расстояния и относительные скорости

препятствий и других транспортных средств. Таким образом, данные датчики являются важным элементом для создания перспективной системы помощи водителю. Основным преимуществом РЛД перед оптическими средствами, является невосприимчивость к условиям окружающей среды (таким как дождь, пыль, дым и блики) [4]. Поскольку ЛЧМ РЛД передают зондирующий сигнал и обрабатывают отраженный сигнал, они могут работать в полной темноте или при ярком дневном свете.

На рисунке 1 показана зависимость частоты ЛЧМ сигнала от времени. ЛЧМ сигнал характеризуется следующими параметрами:

- начальная частота ( $f_c$ ),
- ширина полосы частот ( $B$ ),
- длительность ( $T_c$ ).

Коэффициент изменения частоты ( $S$ ) показывает, как быстро меняется частота во времени [10].

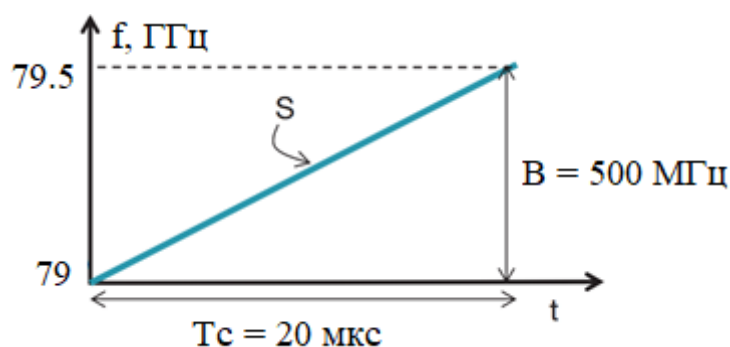


Рис. 1 – зависимость частоты от времени ЛЧМ сигнала [10]

РЛД излучает зондирующий ЛЧМ сигнал и принимает сигнал, являющийся смесью отраженных сигналов от целей. РЛД работает следующим образом:

- синтезатор частот генерирует ЛЧМ сигнал;
- ЛЧМ сигнал излучается передающей антенной;
- отраженный от объектов сигнал, восстанавливается приемной антенной;
- смеситель объединяет излучаемый и принимаемый сигналы, перенося

информацию сигнала на низкую частоту.

Целью данной работы является рассмотрение основных этапов обработки сигналов в автомобильных РЛД с ЛЧМ сигналом. Выполнение данной работы требует решения следующих задач:

1. Изучение литературы, посвященной технологиям радиолокации для системы помощи водителю.
2. Описание основных этапов первичной и вторичной обработки радиолокационной информации.
3. Разработка алгоритма селекций целей на статические и динамические.
4. Разработка алгоритма кластеризации на базе DBSCAN.
5. Расчет уравнения прямой барьерных ограждений.
6. Описание алгоритма траекторной фильтрации на базе JPDA.
7. Апробация описанных алгоритмов на автомобиле для двух РЛД с ЛЧМ сигналом, установленных в задней части автомобиля.

### **Основная часть**

В основной части рассмотрены основные этапы обработки радиолокационной информации. Описаны и разработаны применяемые алгоритмы.

### **Обнаружение и вычисление дистанции**

Обнаружение и определение координат различных объектов — основная функция РЛД. После излучения электромагнитной волны РЛД принимает отраженный сигнал. Для обнаружения цели необходимо отличить сигнал, отраженный от цели, от сигнала, содержащего только шум.

Моностатическая радиолокационная система показана на рисунке 2. РЛД излучает сигнал  $u(t)$ . Сигнал попадает в цель, расположенную в диапазоне  $r$ , и возвращается к антенне.

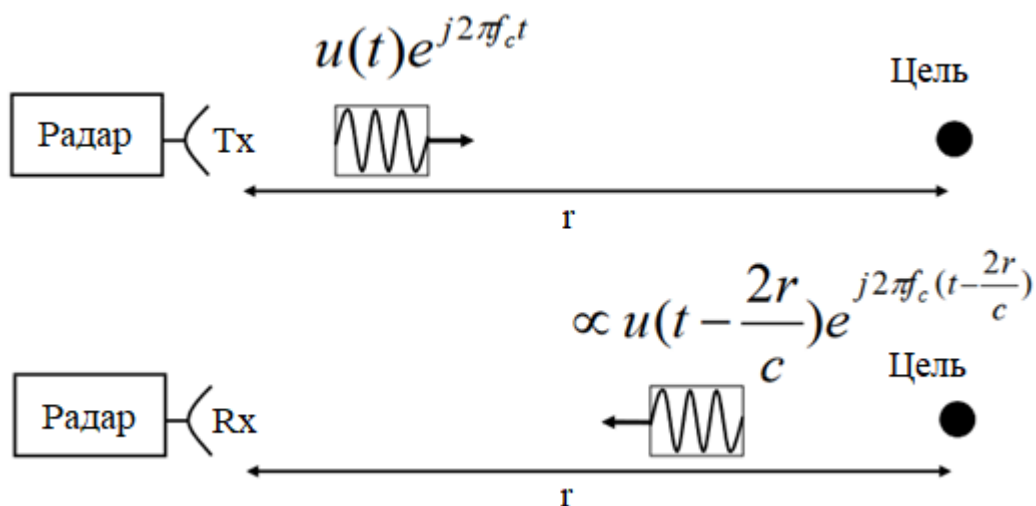


Рис. 2 – система при обнаружении и измерении дальности [11]

После демодуляции принятый сигнал можно представить, как

$$\alpha u\left(t - \frac{2r}{c}\right) + v(t),$$

где  $c$  – скорость распространения волны;

$r$  – расстояние до цели;

$v(t)$  – аддитивный шум;

$\alpha$  – амплитудная характеристика цели.

Амплитудный отклик  $\alpha$  определяется эффективной площадью рассеяния (ЭПР) цели, дальностью  $r$  цели, диаграммой направленности антенны и углом цели. В приемнике обычно применяется согласованный фильтр для выделения полезного сигнала на фоне шумов. Выход согласованного фильтра может быть выражен как

$$y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \alpha u\left(t - \frac{2r}{c}\right) u^*(t - \tau) dt + \int_{-\infty}^{\infty} v(t) u^*(t - \tau) dt = \\ \alpha r_{uu}\left(\tau - \frac{2r}{c}\right) + \int_{-\infty}^{\infty} v(t) u^*(t - \tau) dt,$$

где  $r_{uu} = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) u^*(t - \tau) d\tau$  – автокорреляционная функция  $u(t)$ .

Для определения наличия цели в конкретный момент времени  $\tau_0$  проверяется выходной сигнал согласованного фильтра. Если  $r_{uu}(\tau) > \eta$  для заданного порога  $\eta$ , то радиолокационная система сообщает, что она нашла цель. Малый порог  $\eta$  улучшает скорость обнаружения, но также увеличивает частоту ложных тревог. С другой стороны, большой порог снижает частоту ложных срабатываний, но также снижает и скорость обнаружения. После обнаружения цели можно дополнительно определить дальность цели. Для простой точечной цели дальность цели может быть получена с помощью

$$r = \frac{1}{2} \tau_0 c,$$

где  $\tau_0$  – момент времени, когда выход согласованного фильтра превышает пороговое значение [11].

В случае нескольких целей выходной сигнал согласованного фильтра может быть выражен как

$$y(\tau) = \sum_{i=0}^{N_t-1} \alpha_i r_{uu} \left( \tau - \frac{2r_i}{c} \right) + \int_{-\infty}^{\infty} v(t) u^*(t - \tau) dt,$$

где  $N_t$  – количество целей;

$r_i$  – дистанция до  $i$ -ой цели;

$\alpha_i$  – амплитудная характеристика  $i$ -ой цели.

Чтобы иметь возможность различать эти цели, автокорреляционная функция  $r_{uu}(\tau)$  должна быть узким импульсом, чтобы уменьшить помехи, исходящие от других целей. Узкий импульс во временной области имеет широкий разброс энергии в своем преобразовании Фурье, и наоборот. Поэтому для получения узкого импульса  $r_{uu}(\tau)$  можно выбрать форму волны  $u(t)$  так, чтобы энергия преобразования Фурье  $r_{uu}(\tau)$  была широко разбросана. Преобразование Фурье автокорреляционной функции  $r_{uu}(\tau)$  выражается как

$$S_{uu}(j\omega) = |U(j\omega)|^2,$$

где  $U(j\omega)$  — преобразование Фурье сигнала  $u(t)$ . Следовательно, можно выбрать  $u(t)$  так, чтобы его энергия была широко разбросана по разным частотным компонентам [11].

### Вычисление скорости цели

Для измерения скорости ЛЧМ РЛС излучает несколько последовательных ЛЧМ сигналов («чирпов») периодом  $T_c$ . Каждый отраженный ЛЧМ сигнал обрабатывается посредством FFT (иногда называемым «Range-FFT») чтобы найти расстояние до целей. Range-FFT, соответствующий каждому периоду ЛЧМ сигнала, будет иметь выбросы амплитуды в одном месте, но с другой фазой. Измеренная разность фаз соответствует перемещению цели на  $vT_c$ . Разность фаз имеет вид [7]:

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi v T_c}{\lambda}. \quad (1)$$

Скорость можно получить из следующего выражения:

$$v = \frac{\lambda \Delta\Phi}{4\pi T_c}. \quad (2)$$

Поскольку измерение скорости основано на разности фаз, будет возникать неоднозначность. Измерение скорости однозначно, только если  $|\Delta\Phi| < \pi$ . Используя (2), получаем:

$$v < \frac{\lambda}{4T_c}. \quad (3)$$

Уравнение 4 позволяет найти максимальную относительную скорость, измеренную между двумя ЛЧМ сигналами, разделенными  $T_c$ . Более высокая скорость требует более короткого времени между ЛЧМ сигналами:

$$v_{max} = \frac{\lambda}{4T_c}. \quad (4)$$

Такой метод не работает, если в момент измерения несколько движущихся объектов с разными скоростями находятся на одном и том же расстоянии от РЛД. Метод сравнения фаз не будет работать, так как БПФ («Range-FFT») приведёт к одному пику. В этом случае для измерения скорости РЛД должна передать более двух чирпов. В работе [10] детально рассмотрена методика обработки для объектов, равноудалённых от РЛД, но движущихся с разными скоростями.

### **Диаграммообразование**

В предыдущих пунктах рассмотрено обнаружение, определение дальности и измерение скорости с помощью радара, в текущем подразделе рассмотрена оценка угла цели. Информация об угле вместе с информацией о расстоянии даёт нам полную информацию о местоположении цели. Местоположение цели может быть задано тремя параметрами  $(r, \theta, \varphi)$ , где  $\theta$  — азимутальный угол, а  $\varphi$  — угол места.

Антенны обычно имеют разное усиление для сигналов, передаваемых под разными углами, и сигналов, принимаемых под разными углами. Усиление антенны как функция углов называется диаграммой направленности  $B(\theta)$ . Рассмотрим антенну с диаграммой направленности  $B(\theta)$ , которая имеет большое усиление вокруг угла  $\theta^\circ$ , но небольшое усиление под другими углами. Мы можем использовать эту антенну для обнаружения цели в  $\theta^\circ$ . Однако для обнаружения целей под другими углами нам необходимо механически повернуть антенну на



интересующий угол. Механическое вращение антенны является дорогостоящим и обычно медленным [11].

Чтобы избежать механического вращения антенны, мы можем использовать технологию, называемую цифровым диаграммообразованием, которая позволяет нам изменять диаграмму направленности электронным способом. Для этого требуется несколько антенн, и обычно эти антенны имеют более широкую диаграмму направленности. Для удобства мы предполагаем, что все антенны имеют всенаправленную диаграмму направленности. Другими словами, для каждой антенны  $B(\theta) = 1$  для всех  $\theta$ . Несколько антенн расположены равномерно на прямой линии. Это называется однородной линейной антенной решеткой. На рисунке 3 показана такая антенная решетка. Рассмотрим узкополосную плоскую волну с несущей частотой  $f_c$ , падающую под углом  $\theta$ . Принятый сигнал  $n$ -й антенны можно выразить как

$$r_n(t) = \alpha s(t) e^{j\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)dn \sin\theta} + v(t),$$

для  $n = 0, 1, \dots, N - 1$ , где  $N$  – количество антенн;

$\lambda = \frac{c}{f_c}$  – длина волны сигнала;

$s(t)$  – огибающая сигнала;

$\alpha$  – амплитудная характеристика;

$v(t)$  – аддитивный шум.

Разность фаз  $e^{j\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)dn \sin\theta}$  приходит на разных расстояниях как это показано на рисунке 3 [11].

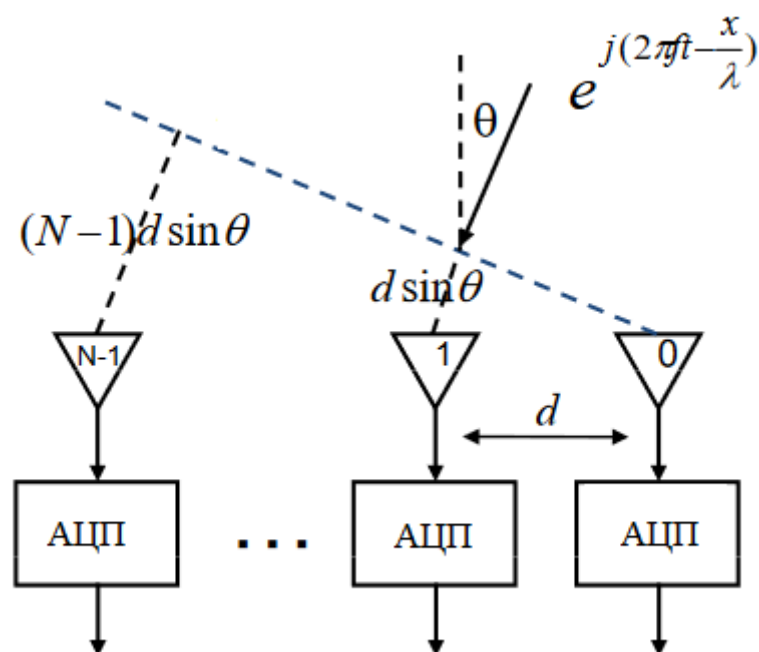


Рис. 3 – Линейная антенная решетка [11]

Чтобы извлечь сигнал из  $\theta$ , можно линейно объединить полученные сигналы и получить

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n r_n(t) = \alpha s(t) \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n e^{j\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) dn \sin \theta} + \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n v(t), \quad (5)$$

где  $\omega_n$  – весовой коэффициент, соответствующий  $n$ -ой антенне;

$B(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n e^{j\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) dn \sin \theta}$  – диаграмма направленности.

Наблюдая за приведенным выше уравнением, можно увидеть, что  $y(t)$  имеет различное усиление для сигнала, поступающего под другим углом  $\theta$ . Следовательно, путем линейного объединения сигналов мы можем синтезировать диаграмму направленности  $B(\theta)$ , как показано в уравнении (5). Отметим, что этой диаграммой направленности  $B(\theta)$  можно управлять с помощью весовых коэффициентов  $\omega_n$  [11].

Чтобы изменить диаграмму направленности, нам не нужно механически вращать антенну. Мы можем просто изменить весовые коэффициенты  $\omega_n$ , и это можно сделать с помощью электронных устройств. Этот метод называется

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

электрическим формированием луча, а весовые коэффициенты  $\omega_n$  называются коэффициентами формирования луча. Диаграмма луча может быть выражена как

$$B(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n e^{j\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)dn \sin\theta} = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n e^{-j\omega n} \Big|_{\omega=\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\theta} = \\ W(e^{j\omega}) \Big|_{\omega=\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\theta},$$

где  $W(e^{j\omega})$  – преобразование Фурье для формирователя луча  $\omega_n$ .

Следовательно, разрешение зависит от количества антенн.

После нахождения параметров цели (азимут, скорость и дальность) применяются алгоритмы вторичной обработки информации.

### **Селекция целей на динамические и статические**

При движении в реальных условиях, автомобильный радиолокационный датчик получает информацию не только о участниках дорожного движения (автомобили, мотоциклы, пешеходы), но и о объектах дорожной инфраструктуры (дорожное полотно, насаждения, барьерные ограждения). Для корректной работы системы необходимо селектировать цели на статические и динамические.

Для определения характера цели необходимо знать параметры движения транспортного средства (ТС), на котором установлены РЛД (скорость рыскания и прямолинейного движения). На рисунке 4 показано движение транспортного средства ( $V_r$ ), указанное в опорной точке и соответствующее движение датчика в переднем левом углу ( $V_s$ ). Его вектор скорости сравнивается с радиальной скоростью обнаружения ( $V_d$ ).

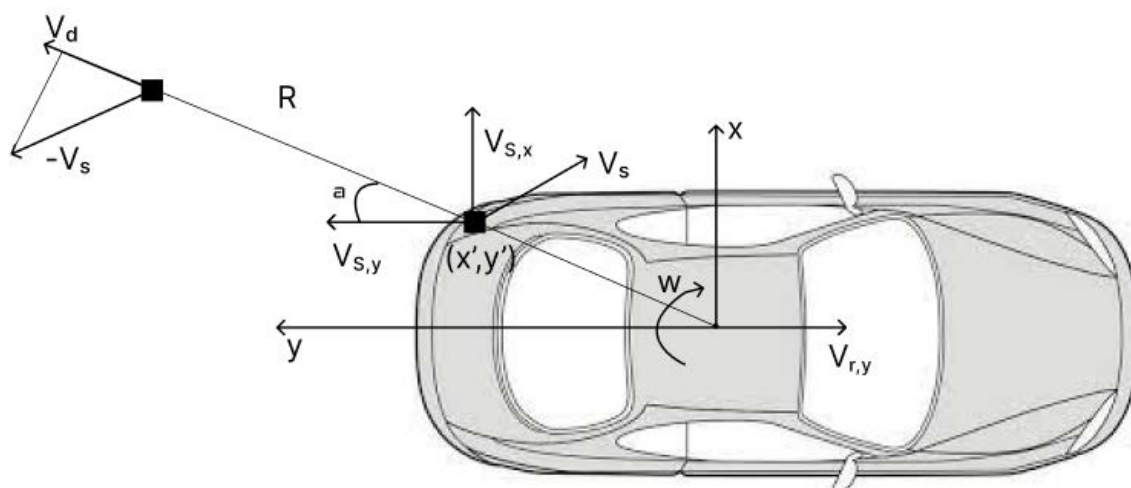


Рис. 4 – Движение транспортного средства [авторская разработка]

С доступом к данным одометрии тестового автомобиля, а именно к его скорости рыскания  $\omega$  и 2D-скорость  $V_r$  опорной точки, а также известное положение  $x'$ ,  $y'$  датчика, скорость РЛД датчика  $V_s$  равна [13]:

$$V_s = \begin{pmatrix} V_{s,x} \\ V_{s,y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega y' \\ -V_{r,y} - \omega x' \end{pmatrix}$$

Прогнозируемая радиальная скорость статического обнаружения  $V_s$ , должна быть равна радиальной скорости цели  $V_d$  [13]:

$$V_d = V_{s,x} \cos(\alpha) + V_{s,y} \sin(\alpha) = \frac{x'V_{s,x} + y'V_{s,y}}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}$$

Таким образом, сравнив два значения: прогнозируемую скорость  $V_s$  и получаемой с РЛД  $V_d'$ , можно сделать вывод о характере каждого обнаружения. Если значения отличаются друг от друга не более чем на заданное  $\epsilon$ , то цель можно считать статической.

### Алгоритм кластеризации

Для снижения вероятности ошибочного срабатывания системы применяются алгоритмы разбиения совокупности объектов на однородные группы [6]. Один из таких является DBSCAN (Density-based spatial clustering of

applications with noise – Пространственная кластеризация приложений с шумом на основе плотности) [9].

DBSCAN представляет собой неконтролируемый алгоритм кластеризации, который группирует вместе точки данных, если плотность точек достаточно высока [12]. Он требует два параметра для определения плотности. Первый параметр – это  $\epsilon$ , описывает радиальное расстояние от оцениваемой точки  $p$ . Второй параметр –  $minPts$ , описывает наименьшее количество обнаружений, которые должны быть на расстоянии  $\epsilon$  от  $p$ , включая сам  $p$ , чтобы сформировать кластер.

Кластер – это группа точек, где все точки взаимосвязаны по плотности, и все точки, доступны по плотности из точки в кластере, принадлежащей кластеру. Другими словами, центральная точка очерчивает кластер вместе со всеми точками, доступными из него по плотности. Точки в кластере, которые не являются основными точками, образуют границу кластера.

В дальнейшей обработке радиолокационной информации (РЛИ) используются только данные о сформированных кластерах.

### **Расчет уравнения прямой барьерных ограждений**

При движении ТС РЛД может обнаружить объекты, находящиеся за пределами разделительной полосы (тротуар, встречная или попутная проезжая часть выделенная конструктивно). Поиск уравнения прямой для статических объектов, объединенных в кластер, позволяет определить расположение барьерных ограждений в пространстве, чтобы не учитывать в траекторном фильтре объекты, которые находятся за пределами ограждений.

Поиск барьерных ограждений, описываемых прямой  $y_i = m_i x_i + b_i$ , заключается в решении уравнения для каждого статического кластера:

$$A = PB,$$

где  $A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \dots & \dots \\ x_n & 1 \end{bmatrix}$ ,  $B = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}$ ,  $P = \begin{pmatrix} m \\ b \end{pmatrix}$  – искомый вектор.

Нахождение коэффициентов уравнения производится при помощи метода наименьших квадратов (МНК) [5].

Для этого используется система из двух уравнений с двумя неизвестными. После нахождения частных производных функции  $F(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2$  по переменным  $a$  и  $b$ , производные приравниваются к нулю.

$$\begin{cases} \frac{\partial F(a, b)}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial F(a, b)}{\partial b} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))x_i = 0 \\ -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b)) = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n b = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases}$$

Решив полученную систему уравнений любым методом (методом подстановки или методом Крамера) и получим формулы для нахождения коэффициентов по МНК [2].

$$\begin{cases} a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n} \end{cases}$$

При данных  $a$  и  $b$  функция  $\sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2$  принимает наименьшее значение.

Формула для нахождения параметра  $a$  содержит суммы  $\sum_{i=1}^n x_i$ ,  $\sum_{i=1}^n x_i^2$ ,  $\sum_{i=1}^n y_i$ ,  $\sum_{i=1}^n x_i y_i$  и параметр  $n$  - количество экспериментальных данных. Значения этих сумм вычисляется отдельно. Коэффициент  $b$  можно найти после вычисления  $a$ .

### Траекторная фильтрация

Результатами первичной обработки информации за один обзор  $T_{\text{обз}}$  являются отметками целей. Они задаются точками в пространстве с координатами  $R$ ,  $\alpha$  или  $x$ ,  $y$ . Прокладываемые по этим точкам траектории оказываются истинными или ложными. Это объясняется погрешностями оценки координат, неточностью предсказания перемещения цели (экстраполяции), наличием шумов и помех и динамическими погрешностями при сложных траекториях целей [1].

Для выдачи решения о наличии или отсутствии истинной цели в наблюдаемой области применяются алгоритмы траекторной фильтрации. Таким алгоритмом является совместный вероятностный фильтр ассоциации данных (СВАД, англ. JPDA - Joint Probabilistic Data Association Filter) [3]. Он представляет собой статистический подход к проблеме ассоциации графика (назначение измерения цели) в алгоритме отслеживания цели.

В СВАД, анализируются все полученные по результатам стробирования наборы пар отметка-траектория и оценивается вероятность каждого из этих вариантов. Каждая траектория продолжается не по всем стробам, а по одной

вновь сформированной, которая учитывает все отметки, взвешенные согласно вероятностям вариантов отождествления, где они участвуют [3].

Исходными данными для работы алгоритма СВАД являются набор траекторий, близко расположенных друг к другу целей и набор отметок, попавших в индивидуальные стробы отождествления всех этих траекторий [3].

Алгоритм СВАД состоит из следующих этапов [3]:

1. Описание всех потенциальных вариантов отождествления каждой из отметок с каждой из траекторий и формирование возможных событий совместного отождествления.

2. Расчет апостериорных вероятностей всех событий [8] совместного отождествления и вероятностей отождествления отметок с траекториями.

3. Расчет результирующей оценки вектора состояния для каждой траектории с учетом всех возможных событий отождествления, в которых она участвует, и вероятностей этих событий.

## Результаты

Для апробации описанных алгоритмов в задней части ТС было установлено два РЛД с углом установки относительно продольной оси ТС равным  $\pm 40^\circ$ . ТС передает на РЛД данных о линейной и угловой скорости. На рисунке 5 приведены результаты работы описанных алгоритмов в реальной дорожной обстановке с двух задних РЛД:

- 1) селектированные статические (фиолетовый квадрат) и динамические (голубой круг) детекты (обнаружения),
- 2) статические (желтый ромб) и динамические (оранжевый круг) кластеры,
- 3) треки (зеленый квадрат).



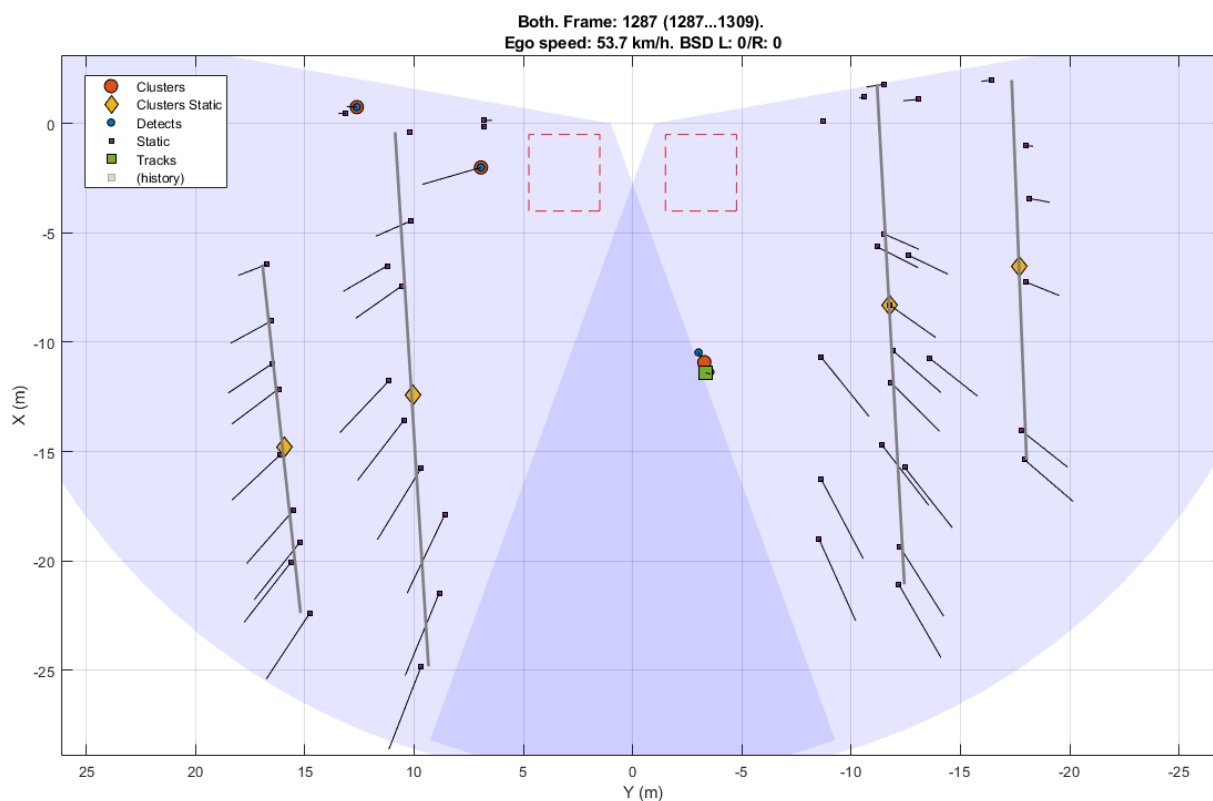


Рис. 5 – Данные, полученные с двух задних РЛД [авторская разработка]

На представленных результатах показано, как в статичных кластерах рассчитаны уравнения прямых, соответствующих барьерным ограждениям вдоль траектории движения (высокие бордюры и заборы). Сформированный трек соответствует движению ТС в соседней полосе движения. Динамические кластеры расположенный за рассчитанной прямой и рядом с ней (в левой части рисунка) не участвуют в траекторной фильтрации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные алгоритмы обработки сигналов в автомобильных РЛД с ЛЧМ позволяют выполнить основные этапы по обнаружению целей, вычислению их пространственных характеристик, селекции целей и последующей траекторной фильтрации.

Рассмотрено практическое применение описанных алгоритмов на базе двух задних РЛД в составе автомобиля. Полученные по реальной целевой

Дневник науки | [www.dnevniknauki.ru](http://www.dnevniknauki.ru) | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

обстановке данные подтверждают правильность выбранных подходов в контексте реализации различных систем помощи водителю, таких как обнаружение объектов в слепых зонах, адаптивный круиз контроль, ассистент движения задним ходом, так как позволяют получать информацию как об участниках дорожного движения, так и о статической инфраструктуре.

Для реализации этих технологий могут потребоваться различные датчики для обнаружения препятствий в окружающей среде и отслеживания их скорости и положения во времени. В зависимости от реализуемой функции и условий применения возможно использовать различные настройки описанных алгоритмов.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ботов М.И., Вяхирев В.А. Основы теории радиолокационных систем и комплексов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013.– 530с.
2. Домбровский, В. В. Эконометрика: учебник / В. В. Домбровский – М. : Новый учебник, 2004. - 342 с
3. Коновалов А.А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации. Часть 1 / А.А. Коновалов – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 164 с
4. Михайловский, А. Е. Радиолокационные системы беспилотного автомобиля, как базовая технология для безопасного автопилотирования / А. Е. Михайловский, А. А. Махов, А. Р. Хизбуллин // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика: Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 242-244.
5. Прокуратова О.Н., Неклюдова С.А. Метод наименьших квадратов // Наука и современность. 2014. № 28. С. 207–212.

6. Сравнение процедур кластеризации методами K-Means и DBSCAN с использованием Python / Г. М. Никитина, Е. М. Павлов, А. В. Рыжов, А. Д. Тарасенко // АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: сборник статей IX Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Пенза, 05 декабря 2022 года. Том Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. – С. 81-83.

7. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1983. 536 с.

8. Хомяков, А. В. Алгоритмы совместной траекторной обработки в многопозиционном радиолокационном комплексе / А. В. Хомяков, В. И. Филипченков, Ю. И. Мамон // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 2. – С. 305-314.

9. Abhishek Sharma. Основанная на плотности пространственная кластеризация для приложений с шумами (DBSCAN). URL: <https://www.helenkapatsa.ru/osnovannaia-na-plotnosti-prostranstviennaia-klastierizatsiia-dlia-prilozhienii-s-shumami> (дата обращения: 14.03.2023).

10. Cesar Iovescu, Sandeep Rao. The fundamentals of millimeter wave sensors. URL: <http://www.ti.com/lit/wp/spyy005/spyy005.pdf> (дата обращения: 05.06.2022).

11. Chen, C. Signal processing algorithms for MIMO radar. PhD thesis / C. Chen - Pasadena, California Institute of Technology, 2009.

12. J. Sander X. Xu M. Ester, H-P. Kriegel. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. AAAI, 1996.

13. R. Prophet, J. Martinez, J.-C. F. Michel, R. Ebel, I. Weber, and M. Vossiek, “Instantaneous Ghost Detection Identification in Automotive Scenarios,” in 2019 IEEE Radar Conference (RadarConf), apr 2019.

*Оригинальность 80%*