

На правах рукописи

Алямкин Сергей Анатольевич

**Классификация объектов в сейсмической системе обнаружения
с учетом параметров их движения**

05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Новосибирск 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН)

Научный руководитель: Нежевенко Евгений Семенович
доктор технических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук
ведущий научный сотрудник

Официальные оппоненты: Спектор Александр Аншелевич
доктор технических наук,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Новосибирский государственный технический университет,
профессор

Авровов Сергей Александрович,
кандидат технических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук
научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное автономно образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Защита состоится «___» _____ 2014 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 003.005.01 в Учреждении Российской академии наук Институте автоматики и электрометрии СО РАН по адресу: 630090, г.Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИАиЭ СО РАН и на сайте <http://www.iae.nsk.su>

Автореферат разослан «___» _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

д.ф.-м.н.

Ильичов Л.В.

Общая характеристика работы

Актуальность исследования. В настоящее время при охране особо важных объектов получили широкое применение сейсмические системы обнаружения (ССО), в которых регистрируются и затем обрабатываются сейсмические сигналы, генерируемые при движении объекта по поверхности земли. Сейсмические датчики являются основой для ССО, их работа обусловлена алгоритмической селективностью, основанной на различиях характеристик шумовых и целевых сигналов. Основными преимуществами сейсмических датчиков являются пассивный принцип функционирования (отсутствие собственного излучения), возможность скрытной установки (в грунт). За счет пассивности функционирования сейсмические средства обнаружения не выявляются электронными средствами разведки, а также обладают большей длительностью автономной работы по сравнению с датчиками, основанными на других физических принципах. Основными тактико-техническими характеристиками (ТТХ) ССО являются вероятность распознавания P объектов классов «Пешеход», «Автомобиль» и время наработки на ложную тревогу T . Улучшение ТТХ достигается за счет разработки новых подходов к обработке сейсмических сигналов. Несмотря на то, что такие алгоритмы разрабатываются в мире с начала 70-х годов, их эффективность остается недостаточно высокой.

Среди задач, решаемых в ССО, стоит отдельно выделить задачу определения местоположения нарушителя и траектории его движения. Решение данной задачи основано на синхронной обработке сигналов с нескольких сейсмоприемников, разнесенных в пространстве. Применительно к задаче распознавания, траектория и скорость объекта могут позволить получить дополнительные признаки для классификации движущихся объектов.

Важными требованиями, предъявляемыми к ССО, являются использование минимального количества сейсмоприемников на 1 километр рубежа, а также ограничение использования вычислительных ресурсов

микропроцессора для достижения достаточно большого времени автономной работы (обычно не менее 2х лет).

Таким образом, актуальность работы обусловлена недостаточной эффективностью имеющихся методов распознавания объектов в ССО.

Цели диссертационной работы - повышение ТТХ ССО за счет использования информации о траектории движения объекта в условиях ограничения числа сейсмоприемников и вычислительных ресурсов.

Для достижения поставленных целей должны были быть решены следующие задачи:

1. Создание базы данных сейсмических записей целевых и шумовых объектов в различных условиях для разработки методов сопровождения и классификации.

2. Разработка метода пеленгования движущихся объектов в условиях ограниченного числа сейсмоприемников и вычислительных ресурсов.

3. Разработка метода уточнения траектории движущегося объекта на основе данных о пеленгах объекта с разнесенных в пространстве пеленгующих датчиков в условиях ограниченного числа сейсмоприемников.

4. Разработка метода классификации движущихся объектов на основе анализа сейсмического сигнала и параметров движения объекта в условиях ограничения вычислительных ресурсов.

Научная новизна

1. Предложен метод пеленгования нескольких объектов в ССО путем сужения диаграммы направленности, полученного при помощи синтеза апертуры в условиях ограниченного количества приемников сейсмического сигнала

2. Показано существенное снижение ошибки сопровождения объекта в ССО при использовании расширенного фильтра Калмана и фильтра частиц по сравнению с использованием стандартного фильтра

Калмана в условиях ограниченного числа сейсмических пеленгующих датчиков.

3. Предложен метод классификации движущихся объектов для ССО, в котором в дополнение к признакам, полученным на основе анализа сейсмического сигнала, добавлены признаки, полученные на основе информации о траектории движения объекта. Предложенный метод в дополнение к объектам классов «Пешеход» и «Автомобиль» позволяет классифицировать объекты классов «Группа» и «Животное».

Практическая значимость

Научные и практические результаты были применены в исследовательских и опытно-конструкторских работах, проводившихся в ООО «Унискан» в 2010-2013 годах.

Актом внедрения подтверждается, что результаты работы использованы при разработке сейсмических датчиков комплекса «Радиобарьер» - изделия, серийно выпускаемого ООО «Унискан» (г. Новосибирск). Разработанный метод уточнения траектории движения позволил существенно снизить ошибку сопровождения объекта. Разработанный метод классификации объектов позволяет классифицировать новые классы объектов: «Группа», «Животное» и увеличивает статистическую вероятность правильной классификации объектов.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Метод широкополосной обработки сейсмического сигнала позволяет решить задачу пеленгования **нескольких** объектов в ССО без увеличения числа сейсмоприемников путем сужения диаграммы направленности за счет синтеза апертуры.

2. Метод уточнения траектории на основе расширенного фильтра Калмана позволяет снизить ошибку сопровождения объекта в ССО с 51 до 5

метров, а величину среднеквадратичного отклонения с 10 до 1 метра в условиях ограниченного числа сейсмических пеленгующих датчиков.

3. Метод классификации движущихся объектов в ССО на основе анализа сейсмического сигнала и информации о параметрах движения объекта позволяет классифицировать 4 класса объектов «Пешеход», «Группа», «Автомобиль», «Животное» со средней относительной частотой правильной классификации 94% для различных грунтов и погодных условий.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях:

XLV111 Международной научной студенческой конференции "Студент и научно-технический прогресс" 2010г. Новосибирск; на 3-й Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-12) (г. Москва, Россия, 16-19 апреля 2012); на 15-й Международной Конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (DSPA-2013) (г. Москва, Россия, 27-29 марта 2013г.)

Публикации. По теме исследования имеется 7 публикаций, из них 4 – статьи в изданиях, внесенных в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук; 2 – статьи в сборнике научных трудов; 1 – тезисы докладов в материалах трудов всероссийских и международных конференций.

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Все представленные в диссертации результаты, связанные с разработкой алгоритмов, проведением экспериментальных исследований и анализом их результатов, получены лично автором.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Объем работы составляет 124 страницы текста, включая 65 рисунков, 15 таблиц, а также список литературы из 60 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность темы исследований, определены цель и задачи работы, сформулирована научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе, составленной на основе литературных источников, приведен обзор методов распознавания движущихся объектов в ССО, а также методов сопровождения объектов в сейсмических и акустических системах обнаружения.

Алгоритмы обнаружения движущихся объектов

Основной задачей, решаемой ССО, является обнаружение пересечения границы объекта пешим нарушителем. Это связано с тактикой применения сейсмических датчиков: они устанавливаются на наиболее трудных участках границы объекта (например, государственной границы), преодолимых только пешеходом.

Большинство детекторов полезного сигнала функционирует следующим образом: анализируемый сигнал разбивается на кадры (окна анализа), для каждого кадра рассчитывается вектор параметров, определяющий значение классификационного параметра. В зависимости от алгоритма определяется разница между значениями классификационного параметра для текущего и предыдущего кадров или разница между значениями классификационного параметра и порога. Сигнал на интервале текущего окна анализа считается полезным, если значение классификационного параметра больше заданного порогового значения. В

качестве классификационного параметра чаще всего используются энергия или кратковременный спектр сигнала. Для сглаживания классификационного параметра используется медианная фильтрация.

Сопровождение движущегося объекта в ССО

На основе обработки сейсмического сигнала с разнесенных в пространстве сейсмоприемников имеется возможность определять траекторию движения объекта. Сопровождение движущегося объекта в ССО позволяет более эффективно проводить охранные мероприятия на территории объекта и решать следующие задачи:

- 1) определение факта пересечения рубежа;
- 2) определение направления пересечения охраняемого рубежа
- 3) определение скорости движения объекта

Задаче сопровождения объекта в ССО посвящен ряд работ. Можно выделить 3 основных метода, используемых для определения траектории движения объекта: поляризационный метод, метод на основе вычисления временной задержки и метод на основе измерения интенсивностей сейсмического сигнала с нескольких сейсмоприемников.

Во второй главе рассмотрен разработанный с участием автора подход к реализации алгоритмов обнаружения объектов «Пешеход» и «Автомобиль» в ССО без учета траекторной информации.

Обнаружение пешехода

Для решения задачи обнаружения пешехода посредством анализа сейсмического сигнала был предложен метод, основанный на расчете функции автокорреляции сейсмического сигнала.

В отличие от методов, основанных на подсчете импульсов, в сейсмическом сигнале предложенный метод не требует большого числа параметров настройки, характеризующих длительность импульсов, диапазон интервалов между импульсами, форму импульсов, что снижает требования к квалификации установщика и позволяет быстрее настроить работу датчика на объекте.

На Рис.1 представлены исходные сейсмические сигналы (а), сигналы после фильтрации (б) и соответствующие им автокорреляционные функции для объектов классов «Пешеход» и «Шум».

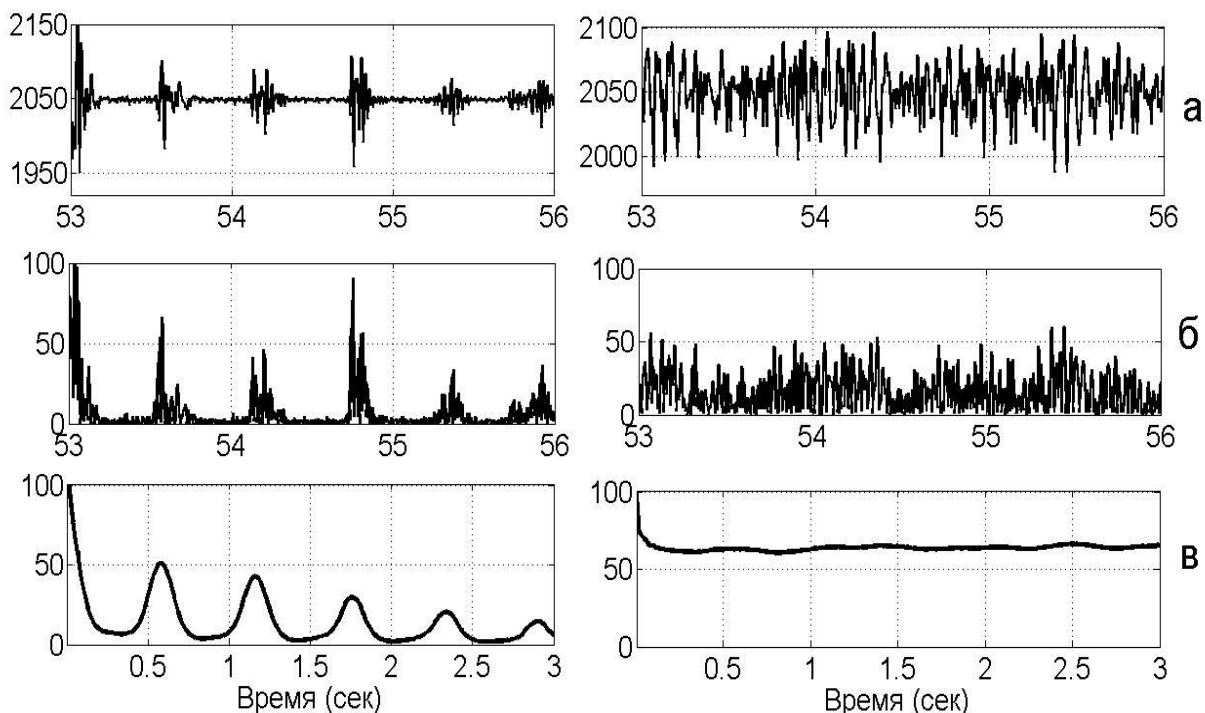


Рис.1. Сравнение сейсмических сигналов: слева – пешеход; справа – шум деревьев на ветру; а - исходная сейсмограмма; б – выпрямленный сейсмический сигнал; в – сглаженная функция автокорреляции (константа времени сглаживания 0.2 сек).

При сравнении автокорреляционных функций целевого и фонового сигналов на Рис.1. в видно, что они сильно разнятся, хотя фоновый сигнал в данном примере имеет выраженный импульсный характер. При совместном просмотре автокорреляционных функций фоновых и целевых сигналов в качестве классификационных были выбраны корреляционный контраст (далее КК):

$$KK = A_1 + A_2, \quad (1)$$

где A_1, A_2 - амплитуды первых двух максимумов нормированной автокорреляционной функции, и частота автокорреляционной функции:

$$f = 2/\tau, \quad (2)$$

где τ - интервал времени между нулевым и вторым максимумами функции автокорреляции.

Распознавание автомобиля

В качестве признаков при распознавании автомобильной техники использовались спектральные коэффициенты, соответствующие диапазону частот 10-50Гц с шагом 1Гц, которые рассчитывались на основе участков сигнала длительностью 10 секунд, со сдвигом друг относительно друга, равным одной секунде. Для реализации нейросетевого подхода к обработке данных использовался Neural network toolbox в Matlab. Для уменьшения размерности данных на выборке для обучения был применен алгоритм самоорганизующейся карты Кохонена (SOM) размером 10x10. В качестве классификатора использовалась вероятностная нейронная сеть.

При непосредственном участии автора был разработан метод распознавания объектов класса «Автомобиль» на основе анализа сейсмического сигнала. Было показано, что использование метода самоорганизующихся карт Кохонена для понижения размерности признакового пространства приводит к увеличению вероятности правильного распознавания объектов типа с 84% до 93%.

Результаты

В рамках опытной эксплуатации сейсмических датчиков было обнаружено, что высока вероятность ложной тревоги при движении вблизи него крупного животного (корова, лошадь и др.). Это происходит за счет близкого характера сейсмических сигналов, генерируемых как при движении пешехода, так и при движении животного.

Для решения задачи уменьшения вероятности ложных тревог при движении животных вблизи места установки датчика необходимо привлекать дополнительную информацию, так как в скалярном сейсмическом сигнале недостаточно информации для разделения классов объектов «Пешеход»,

«Автомобиль», «Животное». В работе в качестве дополнительных параметров, которые должны позволить улучшить классификацию движущихся объектов, планируется использовать параметры, полученные в результате определения траектории движущегося объекта.

В третьей главе рассмотрены методы сопровождения движущихся объектов, основанные на анализе сейсмических волн.

Пеленгование одиночного объекта

При вычислении пеленга источника сейсмических волн пользуются допущением о постоянстве скорости распространения сейсмических волн в зоне локации. Создание подобного рода устройств натывается на ряд проблем, обусловленных физическими свойствами сейсмических волн. Характерной особенностью сейсмических волн являются изменение их формы в зависимости от расстояния между источником возмущения грунта и сейсмическим приемником, что обусловлено фильтрующими свойствами грунта (с увеличением расстояния источник – приемник максимум спектра принимаемого сигнала смещается в область низких частот), дисперсией скорости. Это затрудняет измерение временных задержек, приводит к большим погрешностям в определении пеленга. Стоит отметить, что характеристики сейсмических волн (скорость, дисперсия скорости, частотная зависимость декремента затухания) существенно разнятся на разных полигонах.

Одной из основных проблем при использовании метода временной задержки для пеленгования объекта является необходимость измерения скорости распространения сейсмической волны в грунте, которая зависит как от состояния грунта, так и частотного состава сигнала. Для решения проблемы использовался метод установки геофонов, который позволяет не проводить непосредственные измерения скорости распространения сейсмической волны. Это достигается за счет установки геофонов в углах равнобедренного прямоугольного треугольника (Рис.2.). Фактически,

система представляет собой двухэлементную антенну в которой третий приемник используется для коррекции скорости распространения волны.

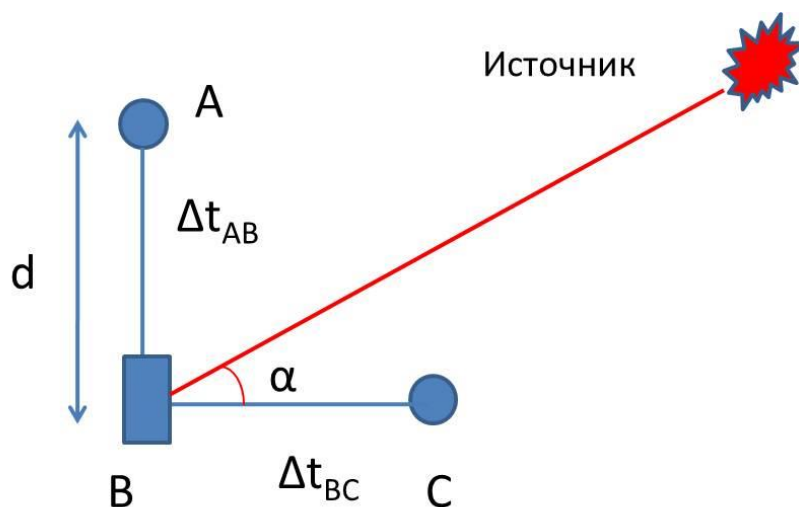


Рис.2. Схема установки геофонов для пеленгования объекта

Для определения пеленга объекта в приближении плоского фронта волны получаем:

$$\alpha = \text{artg}\left(\frac{\Delta t_{AB}}{\Delta t_{CB}}\right), \quad (3)$$

где Δt_{AB} - временная задержка между геофонами A и B; Δt_{CB} - временная задержка между геофонами C и B. Для расчета временной задержки использовался корреляционный метод.

При тестировании предложенного подхода для пеленгования двух объектов (шагающих людей) была обнаружена проблема (Рис.3): видно, что пеленгуется то один, то другой объект, причем ошибка пеленгования составляет не менее 50° . Следовательно, необходимо решить проблему пеленгования нескольких объектов посредством обработки сейсмического сигнала.

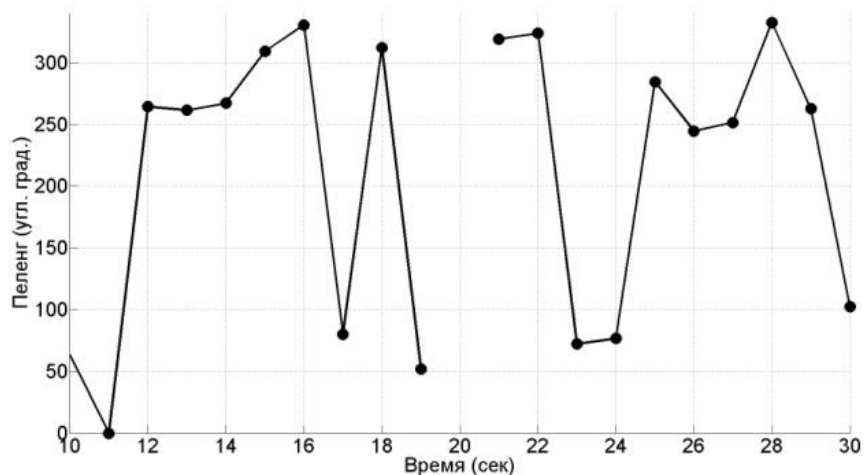


Рис.3. Результат пеленгования двух пешеходов, движущихся параллельными курсами.

Пеленгование нескольких объектов

Необходимо искать решение задачи пеленгования нескольких объектов без увеличения числа сейсмоприемников в каждом датчике.

Очевидно, что при пеленговании более одного объекта проблема возникает из-за формы диаграммы направленности (ДН) антенны из двух датчиков. Диаграмма направленности такой антенны для соотношений $d/\lambda = 0,5, 1,0, 1,5$ (d – расстояние между датчиками, λ – длина волны) имеет вид, показанный на Рис.4.

Для решения данной задачи был предложен метод широкополосной обработки сейсмического сигнала. Когда сигнал попадает на двухэлементную антенну, после обработки каждой полосе частот как бы соответствует свой приемник, в результате чего образуется многоэлементная антенна. Алгоритм формирования многоэлементной антенны следующий:

Пусть v_k – сигнал с датчика, $k=1,2$. Для каждого направления θ производим операцию:

$$D(\Theta) = \left\langle \sum_{n=1}^N [V_1(w_n)\Psi(\Theta) - V_2(w_n)\Psi(\Theta)] \exp(jw_n t) \right\rangle, \quad (4)$$

где $V(w_n) = \int_0^T v(t) \exp(-jw_n t) dt$ - преобразование Фурье от функции $v(t)$,

$$\Psi_n(\Theta) = \frac{-\pi \times d \times \sin(\Theta) \times w_n}{c}, \quad (5)$$

где Θ – направление главного лепестка, d - расстояние между датчиками, n – число полос частот, на которое разбита ширина полосы частоты сигнала, c – скорость звука в среде, w_n – центральная частота диапазона, $\langle \rangle$ - оператор усреднения за заданный интервал времени.

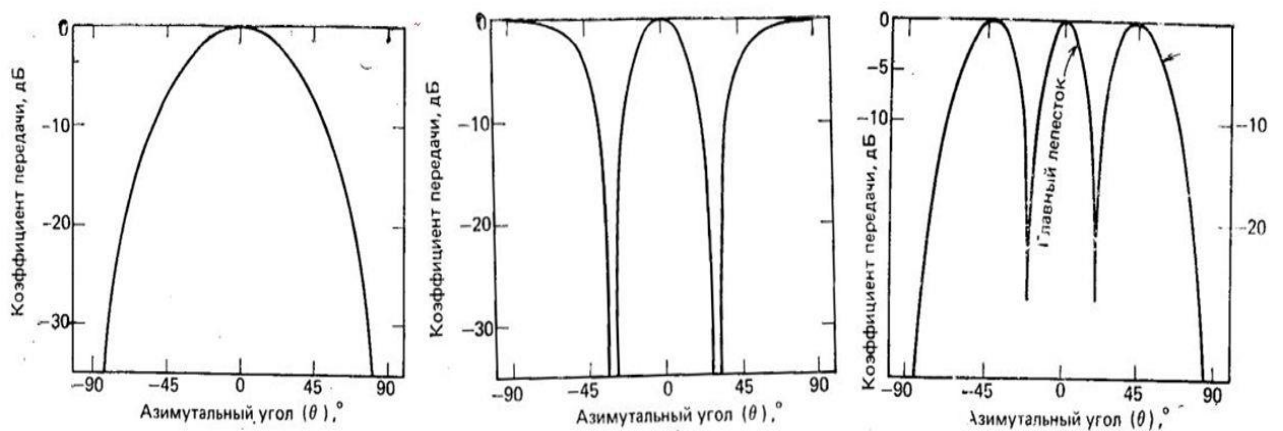


Рис.4. Диаграмма направленности антенны из двух датчиков для соотношений $d/\lambda = 0,5, 1,0, 1,5$ (d – расстояние между датчиками, λ – длина волны)

Множители $\Psi_n(\Theta)$ вводятся для «вращения» фазового фронта относительно линии расположения сейсмоприемников, определяющего направление главного лепестка диаграммы направленности (вместо этого можно было бы подбирать амплитудные коэффициенты). В каждый момент времени необходимо просканировать направления $\Theta=0^\circ..360^\circ$, в этом, собственно, и заключается алгоритм пеленгования. $\Psi_n(\Theta)$ зависит от частоты сигнала, причем так, чтобы сигналы от одного источника на разных частотах были в фазе. Усреднение за некоторое время вводится для увеличения отношения сигнал/шум. $D(\Theta)$ соответствует диаграмме направленности антенны, состоящей из n элементов.

Результаты обработки для реальных сигналов приведены на Рис.4. Исходные данные в реальном эксперименте соответствуют модельному эксперименту. Соответственно на Рис.4а представлено нахождение траектории для одного объекта, на Рис.4б – для двух объектов. Естественно, в случае реальных сигналов траектории не так четко разделяются, поскольку отношение сигнал/шум здесь меньше, но, тем не менее, можно с полной уверенностью идентифицировать движение двух объектов, что весьма проблематично без синтеза многоэлементной решетки из двух датчиков.

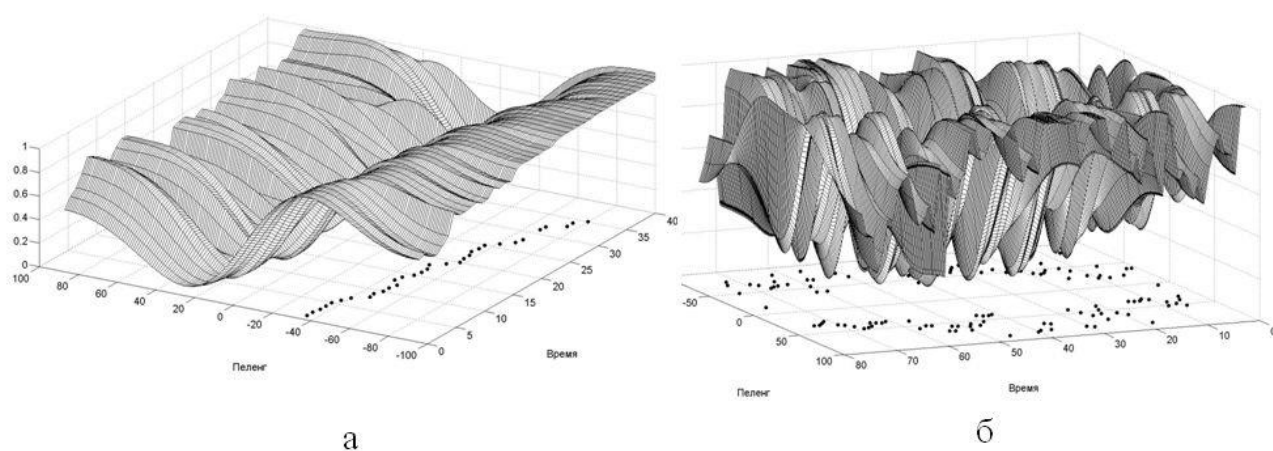


Рис.5. Реальный эксперимент по пеленгованию объектов синтезированной антенной - один объект (3.18а) два объекта (3.18б)

В четвертой главе описаны методы уточнения координат движения объекта, полученных на основе способа триангуляции. Для фильтрации точек траектории, полученных в результате обработки пеленгов, проводилось сравнение фильтра Калмана и фильтра частиц.

В Таблице 1. приведены результаты точности определения траектории различных объектов без фильтрации и с фильтрацией на основе фильтра Калмана, расширенного фильтра Калмана, фильтра частиц (1000 частиц). Записи пеленгов с сети сейсмических пеленгующих датчиков проводились для объектов типа «Пешеход» и «Автомобиль».

На Рис.6. отображены траектории движения автомобиля без фильтрации, полученные с использованием фильтра Калмана, расширенного фильтра Калмана и с фильтром частиц. Пунктирной линией обозначена

трасса движения объекта. Видно, что первичные координаты объекта, полученные методом триангуляции, имеют существенное отклонение от трассы движения объекта. Это связано с наличием ошибки определения точки траектории на основе метода триангуляции, которая достигает максимального значения на линии соединяющей СПД. Траектория, полученная с использованием фильтра Калмана, также имеет существенную ошибку на линии между датчиками, так как не выполняется предположение о нормально распределенных шумах.

На Рис.6. видно, что использование расширенного фильтра Калмана и фильтра частиц существенно снижает величину ошибки, возникающей на линии рубежа.

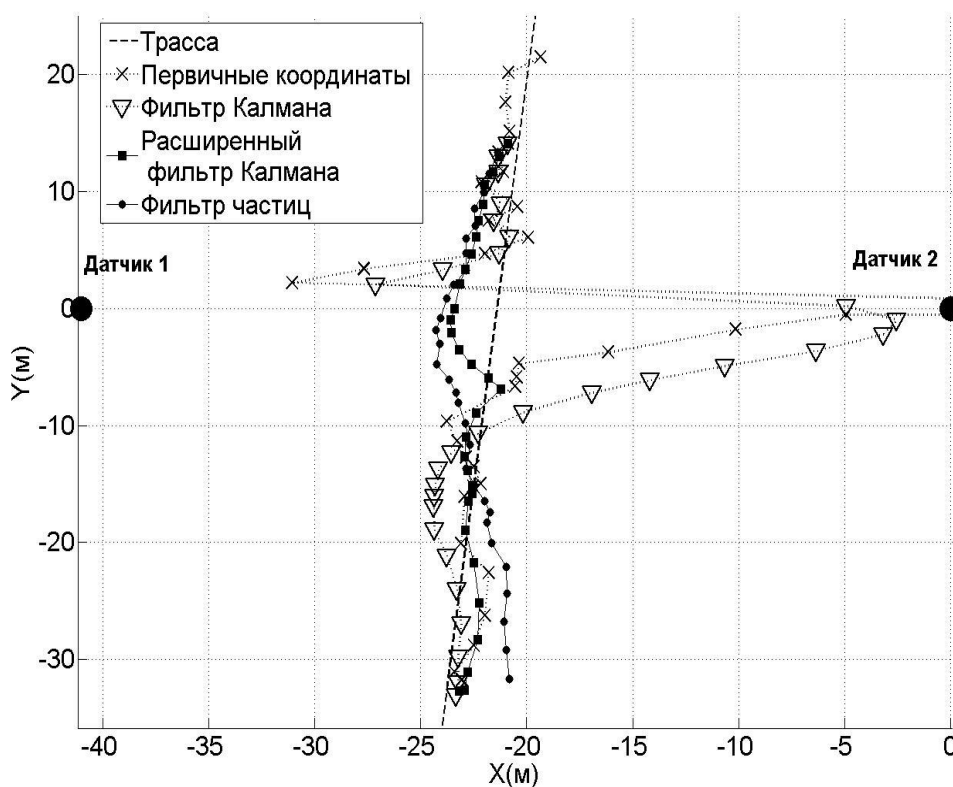


Рис. 6. Найденные траектории движения пешехода через рубеж без фильтрации, с фильтром Калмана, с расширенным фильтром Калмана, с фильтром частиц.

Из Таблицы 1 видно, что точки траектории, полученные на основе метода триангуляции (без фильтрации), имеют существенную ошибку: максимальное отклонение достигает 51.9 метров и среднеквадратичное отклонение достигает 10.7 метров. Поэтому использование методов уточнения траектории необходимо при решении поставленной задачи. Применение фильтра Калмана также не дает существенного улучшения точности определения траектории. Из Таблицы 1 видно, что использование расширенного фильтра Калмана и фильтра частиц, которые учитывают нелинейную зависимость ошибки измерения координат, приводит к уменьшению максимальных ошибок до 5 метров, а среднеквадратичных значений ошибок до величин порядка 1 метра.

Таблица 1. Результаты сравнения методов фильтрации точек траектории.

Эксперимент	Без фильтрации		Фильтр Калмана		Расширенный фильтр Калмана		Фильтр частиц (1000 частиц)	
	СКО (м)	макс. ошибка (м)	СКО (м)	макс. ошибка (м)	СКО (м)	макс. ошибка (м)	СКО (м)	макс. ошибка (м)
Пешеход вдоль рубежа	7.5	21.3	3.6	12.4	0.6	2.1	0.5	1.9
Пешеход через рубеж	10.7	51.9	6.8	16.9	1.0	4.1	1.1	4.2
Автомобиль вдоль рубежа	6.9	18.2	4.0	9.9	0.7	2.1	0.8	2.6
Автомобиль через рубеж	8.3	31.1	4.8	12.2	0.9	3.3	0.9	3.2

В пятой главе проведен анализ дополнительных признаков классификации объектов, полученных с использованием информации о траектории движения объекта. Первым дополнительным признаком является интенсивность источника сейсмических колебаний, которая определяется на

основании информации о расстоянии между источником и приемником и интенсивности принимаемого сигнала. Также дополнительным информативным признаком является скорость движения объекта: разные объекты имеют разную характерную скорость движения.

Важным информативным признаком является частота следования импульсов в сейсмическом сигнале. Для решения задачи выделения импульсов использовался метод вейвлет - фильтрации. Вид базовой функции подбирался таким образом, чтобы ее реальная часть была близка по форме импульсу сейсмического сигнала, а производные функции получаем из нее за счет масштабирования.

$$\Psi_w(t, t_0) = A \times \exp\left(-\frac{(t - t_0)^2}{\lambda} + iw(t - t_0)\right), \quad (6)$$

где $A = \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi_w(t, t_0)| dt$, $t \in [0..T_0(w)]$, λ - параметр, характеризующий затухание.

Результат свертки:

$$C_w(t_0) = \int_0^{T_0} s(t) \Psi_w(t, t_0) dt, \quad (7)$$

где $s(t)$ - сейсмический сигнал.

При решении задачи классификации объектов в ССО необходимо разделить следующие классы объектов «Пешеход», «Группа», «Автомобиль», «Животное», «Шум». В качестве метода классификации был выбран метод опорных векторов, который нашел широкое применение для решения задач бинарной классификации.

Для решения задачи классификации, в которой движущийся объект относится к одному из 5 классов, используется схема, представленная на Рис.7.

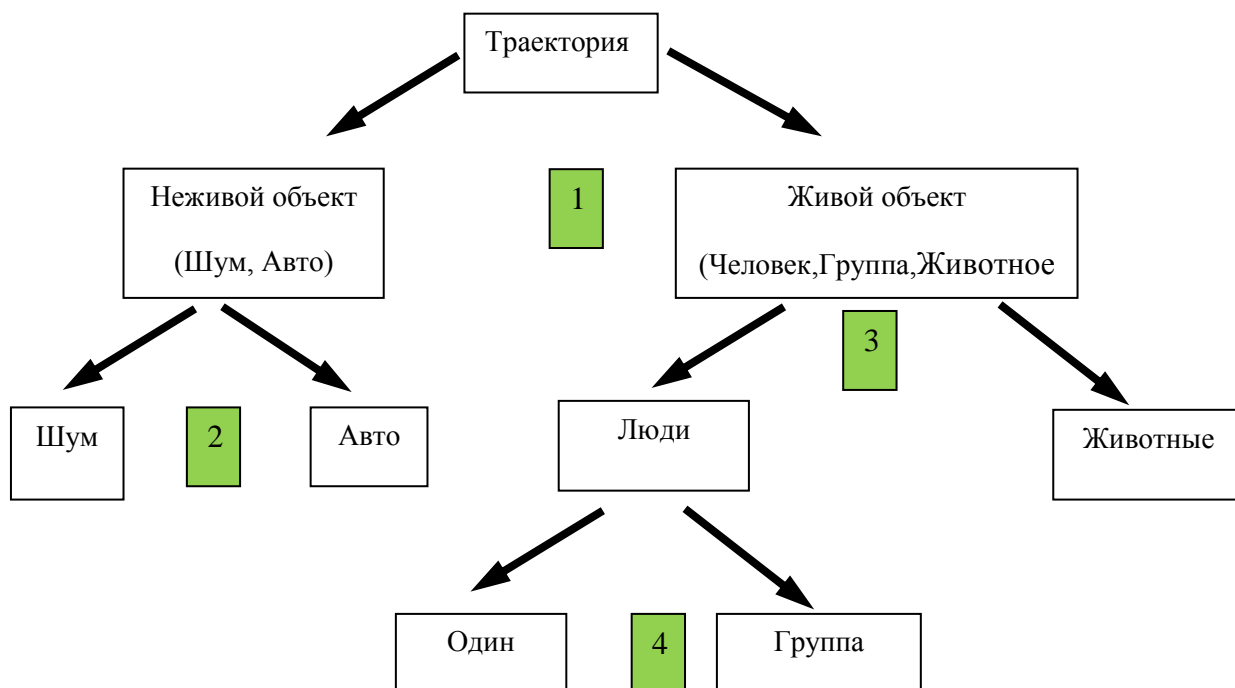


Рис.7. Схема последовательного уточнения класса объекта

В качестве признаков распознавания использовались:

- 1) Длина траектории
- 2) Скорость движения объекта
- 3) Корреляционный контраст
- 4) Частота корреляционной функции
- 5) Распределение интервалов следования импульсов
- 6) Интенсивность источника сейсмического сигнала

Итоговый результат классификации выдается на основании решений 4х классификаторов в соответствии со схемой, представленной на Рис.7.

Таблица.2. Матрица ошибок классификации объектов

Результат классификации (%)						
объект		пешеход	группа	Животное	Авто	Шум
	Пешеход	94	6	0	0	0
	Группа	9	91	0	0	0
	Животное	2	5	85	5	3
	Авто	0	0	0	98	2
	Шум	0	0	0	0	100

В Заключении сформулированы основные результаты работы.

1. Разработан метод пеленгования движущегося объекта на основе расчета клипированной функции взаимной корреляции с разнесенных в пространстве сейсмоприемников. СКО не превышает 7° для пешехода на дальности до 50 м и для автомобиля до 100 м в условиях ограниченного числа сейсмоприемников и вычислительных ресурсов

2. Предложен метод пеленгования нескольких движущихся объектов путем сужения диаграммы направленности, полученный при помощи синтеза апертуры.

3. Предложен метод выделения импульсов в сейсмическом сигнале на основе вейвлет - фильтрации

4. Проведен сравнительный анализ фильтра Калмана, расширенного фильтра Калмана и фильтра частиц применительно к решению задачи уточнения траектории движения объекта в условиях ограниченного числа сейсмических пеленгующих датчиков. Показано, что при использовании расширенного фильтра Калмана и фильтра частиц величина максимальной ошибки уменьшается с 51 до 5 метров, а величина СКО по всей траектории уменьшается с 10 до 1 метра.

5. Впервые поставлена и решена задача классификации объектов в ССО на основе характеристик сейсмического сигнала и параметров движения объекта, что позволило увеличить относительную частоту правильной классификации объектов классов: «Пешеход» с 90% до 95%, «Автомобиль» - с 94% до 100%, а также классифицировать классы объектов: «Группа» - с относительной частотой 88%, «Животное» - 87%. Средняя относительная частота правильной классификации объектов составила 94%.

6. Для разработки методов пеленгования и классификации объектов в ССО создана база данных, содержащая записи с 31-го полигона (разные типы грунтов); всего более 400 записей, суммарная длительность записей более 200 часов.

Список публикаций

1. С. А. Алямкин, Е. С. Нежевенко. - Восстановление траектории движущегося объекта в сейсмической системе обнаружения при ограниченном количестве датчиков. // Автоматика и телемеханика. - 2014. - №2. С. 31–39.
2. С.А. Алямкин, С.И. Еременко - Алгоритм распознавания пешехода на основе анализа автокорреляционной функции сейсмического сигнала. //Автометрия.- 2011.- №2(47). С.26-32.
3. С.А. Алямкин, Е.С. Нежевенко.- Сопровождение нескольких объектов в сейсмических системах обнаружения // Автометрия.- 2013.- №2(49). С.49-56.
4. С.А. Алямкин, Е.С. Нежевенко.- Сравнительный анализ фильтра Калмана и фильтра частиц при решении задачи сопровождения объекта в сейсмической системе обнаружения // Автометрия.- 2014.- №1. С.66-73.
5. С.А. Алямкин, С.И. Еременко, Е.С. Нежевенко - Алгоритм восстановления траектории движущегося объекта в сейсмической системе обнаружения // Труды и пленарные доклады участников 3-й Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-12) (г. Москва, Россия, 16-19 апреля 2012).
6. С.А. Алямкин - “Пеленгация источника сейсмоколебаний” - Материалы XLV111 Международной научной студенческой конференции "Студент и научно-технический прогресс" 2010г. Новосибирск
7. С.А. Алямкин - “Распознавание автомобильной техники на основе анализа сейсмического сигнала” – труды DSPA-2013