**Цель**: разработка алгоритма моделирования и предсказания траектории движения отслеживаемого объекта по входному сигналу.

**Анализ статей**:

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ТРАЕКТОРНОЙ ОБРАБОТКИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ Калинов С.Д., Земсков Ю.В.
   1. **Актуальность**  
      Рост объемов воздушного движения требует повышения эффективности подсистем наблюдения в автоматизированных системах управления (АС УВД). Это необходимо для улучшения безопасности полетов, оптимизации планирования потоков воздушных судов (AMAN/DMAN) и снижения нагрузки на диспетчеров. Актуальность работы связана с поиском недорогих решений, не требующих модернизации аппаратной базы, через совершенствование алгоритмов обработки данных.
   2. **Существующие решения**  
      В современных АС УВД используются классические методы:
      1. **Альфа-бета фильтр**;
      2. **Фильтр Калмана**, настроенный на равномерное прямолинейное движение или стандартный разворот (3°/с).

Эти методы эффективны для простых траекторий (прямолинейное, круговое движение), но хуже справляются с маневрирующими воздушными судами (ВС) и сложными траекториями (например, "горизонтальная восьмерка").

* 1. **Постановка задачи**  
     Требуется повысить точность краткосрочного прогнозирования координат ВС в условиях разнообразия моделей движения и маневров. Ключевая проблема — адаптивность алгоритмов к неопределенным и изменяющимся траекториям без модернизации аппаратного обеспечения.
  2. **Предлагаемое решение**  
     Авторы предлагают **универсальный алгоритм прогнозирования**, основанный на применении универсального фильтра - решения уравнения с гауссовым ядром:

,

где  — гауссово ядро,  — предыдущие прогнозы,  — наблюдаемые данные.  
Алгоритм демонстрирует лучшую точность (на 20% меньше среднеквадратическое отклонение) при моделировании сложных траекторий, таких как "горизонтальная восьмерка", по сравнению с классическими методами. Его универсальность позволяет использовать его в **многомодельных фильтрах**, что обеспечивает оптимальное сопровождение маневрирующих ВС. Решение особенно эффективно в условиях неопределенности и разнообразия моделей движения.

1. ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ЗАДАЧАХ ТРЕКИНГА ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ М.Б. Пименова
   1. **Актуальность**  
      Точное отслеживание воздушных объектов (квадрокоптеров, самолетов, вертолетов) в режиме реального времени критически важно для систем безопасности, управления воздушным движением и компьютерного зрения. Актуальность работы обусловлена необходимостью решения проблем, связанных с окклюзией (перекрытием объектов), маневрированием целей, а также обработкой видеопотоков с высокой точностью и минимальными вычислительными затратами.
   2. **Существующие решения**
      1. **Фильтр частиц** — используется для трекинга, но требует больших вычислительных ресурсов.
      2. **Метод Виолы-Джонса** — эффективен для обнаружения объектов, но не адаптирован к динамическому отслеживанию.
      3. **Фильтр Калмана** — классический подход для предсказания состояний систем, применяемый в навигации и локализации. Однако его стандартные реализации могут быть недостаточно гибкими при резких изменениях траектории или окклюзии.
   3. **Постановка задачи**  
      Требуется разработать алгоритм трекинга воздушных объектов в видеопотоке, который:
      1. Корректно работает при частичном или полном перекрытии объекта (окклюзии).
      2. Адаптируется к маневрам и изменению скорости.
      3. Обеспечивает прогнозирование траектории в реальном времени.
      4. Устойчив к шумам и изменениям освещения.
   4. **Предлагаемое решение**  
      Авторы предлагают **модифицированный алгоритм на основе фильтра Калмана**, интегрированный с методами сегментации изображений. Ключевые особенности:
      1. Использование **цветовой сегментации и бинаризации** для выделения объекта на фоне.
      2. **Двухэтапная работа фильтра Калмана**: **Прогноз** — предсказание положения объекта на следующем кадре. **Коррекция** — уточнение данных на основе новых измерений.
      3. Решение проблемы окклюзии: при исчезновении объекта фильтр переходит в режим прогноза, а при его появлении — корректирует траекторию.
   5. Настройка параметров детектирования (порог сегментации, размер «блобов») для оптимизации быстродействия.

Алгоритм демонстрирует устойчивость к слабым окклюзиям и шумам, а также точное восстановление траектории после перекрытия. Ограничения: статичность сцены, неизменность формы и размеров объекта, зависимость от контраста между объектом и фоном. Перспективы: интеграция с методами SIFT/SURF для улучшения точности, учет динамических параметров (форма, размер) в векторе состояния.

1. Реализация фильтра частиц для построения траектории на графе Кобелева А.О.
   1. **Актуальность**  
      Локальное позиционирование объектов в шахтах критически важно, так как глобальные системы (GPS, ГЛОНАСС) не работают в условиях отсутствия спутникового сигнала. Существующие локальные методы часто имеют недостатки: низкую точность, высокую стоимость оборудования или сложность адаптации к динамическим условиям шахт. Актуальность работы связана с необходимостью разработки экономичных и точных алгоритмов для определения местоположения мобильных объектов в подземных условиях.
   2. **Существующие решения**
      1. **Глобальные системы** (GPS, ГЛОНАСС) — неприменимы в шахтах.
      2. **Локальные системы** — используют радиоизмерения, инерциальные датчики или гибридные методы. Однако они часто требуют дорогостоящего оборудования или не обеспечивают достаточной точности в сложных условиях шахт.
   3. **Постановка задачи**  
      Требуется разработать алгоритм, который:
      1. Привязывает траекторию движения объекта, полученную от инерциального измерительного модуля, к графу, моделирующему план шахты.
      2. Учитывает погрешности измерений.
      3. Обеспечивает определение местоположения объекта в реальном времени.
      4. Работает в условиях ограниченной видимости радиомаяков (РМП) и динамической среды.
   4. **Предлагаемое решение**  
      Авторы предлагают **алгоритм на основе фильтра частиц**, который:
      1. Использует **байесовскую фильтрацию** для оценки состояния объекта.
      2. Интегрирует данные от инерциального модуля (ускорение, направление) и радиомаяков.
      3. Моделирует движение частиц на графе шахты, что позволяет сопоставлять реальную траекторию с картой.

Алгоритм демонстрирует высокую точность при условии размещения РМП на оптимальном расстоянии. Ограничения: зависимость от качества карты (графа) шахты и точности инерциальных данных. Перспективы: применение на реальных данных, интеграция с другими методами локализации для повышения устойчивости.

1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖУЩЕЙСЯ ЦЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТО-ДАННЫХ И ФИЛЬТРА ЧАСТИЦ Нгуен Минь Хонг.
   1. **Актуальность**  
      Прогнозирование траектории движущихся целей критически важно для военных и гражданских задач (наблюдение, медицина, безопасность). Актуальность работы обусловлена **нелинейностью движения целей** в реальных условиях и ограничениями классических методов (например, фильтра Калмана), которые предполагают линейность системы. Точное отслеживание требует учета шумов, сложных траекторий и данных с камер, что делает разработку нелинейных алгоритмов ключевой проблемой.
   2. **Существующие решения**
      1. **Фильтр Калмана и его модификации** (расширенный EKF, UKF) — широко применяются, но неэффективны для нелинейных систем.
      2. **Гибридные методы** (например, комбинация EKF и UKF) — улучшают точность, но остаются ограниченными из-за линейных допущений.
      3. **Оптические методы** — используют данные камеры, но требуют интеграции с алгоритмами фильтрации для обработки шумов.
   3. **Постановка задачи**  
      Требуется разработать алгоритм, который:
      1. **Прогнозирует состояние цели** (положение, скорость, направление) в трехмерном пространстве.
      2. Учитывает **нелинейность движения** и **шумовые помехи** в данных камеры.
      3. Обеспечивает **высокую точность** даже при отклонениях измерений от реальных значений.
      4. Работает в режиме **реального времени** с балансом между вычислительной нагрузкой и точностью.
   4. **Предлагаемое решение**  
      Автор предлагает **алгоритм на основе фильтра частиц**, который:
      1. Использует **нелинейные модели движения** для описания состояния цели (координаты, скорость, углы).
      2. Интегрирует данные с камеры, преобразованные в систему координат камеры, с учетом шумов.

Фильтр частиц демонстрирует **более высокую точность** по сравнению с фильтром Калмана, особенно при резких изменениях траектории (например, угла φ). **Ограничения**: высокая вычислительная нагрузка из-за большого числа частиц, необходимость балансировки между точностью и скоростью. **Перспективы**: оптимизация параметров, интеграция с методами снижения шумов, применение в системах реального времени.

1. Прогнозирования движения объектов. Коптев Б.А., Розов А.К., Романовский А.Ф.
   1. **Актуальность**  
      Прогнозирование движения объектов критически важно для систем, где ошибки измерений и устаревание данных расширяют область возможных координат объекта (например, в противовоздушной обороне). Актуальность работы связана с **необходимостью минимизировать ошибки прогноза** при ограниченном времени вычислений, что особенно важно для задач реального времени.
   2. **Существующие решения**
      1. Методы, основанные на **внешнетраекторных измерениях**, но они не обеспечивают точного прогноза.
      2. Подходы, требующие **оптимизации всего комплекса** (измерения + прогноз), но их реализация сложна из-за противоречия между точностью и скоростью.
      3. Линейные фильтры, которые не всегда учитывают нестационарность процессов.
   3. **Постановка задачи**  
      Требуется разработать алгоритм, который:
      1. **Фильтрует шумы** в данных измерений.
      2. **Прогнозирует координаты** объекта с минимальными ошибками.
      3. **Балансирует между точностью и временем вычислений**.
   4. **Предлагаемое решение**  
      Авторы предлагают **линейный нестационарный фильтр Калмана–Бьюси**, который:
      1. Моделирует траекторию.
      2. Использует **стохастические дифференциальные уравнения** для фильтрации и прогноза.
      3. Включает этапы:
         * **Фильтрация** — оценка параметров траектории (координаты, скорость, ускорение).
         * **Прогноз** — экстраполяция траектории на основе оцененных параметров.

**Моделирование** подтвердило, что ошибки фильтрации уменьшаются с ростом времени наблюдения. **Преимущества**: метод обеспечивает приемлемую точность прогноза, особенно при длительном времени наблюдения. **Ограничения**: ошибки прогноза растут с удалением от момента окончания фильтрации. **Перспективы**: применение в системах противодействия, где требуется баланс между скоростью и точностью.

1. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ. Дмитрий Юрьевич Соколов.
   1. **Актуальность**  
      Прогнозирование движения наземных объектов критически важно для военных (наведение вертолётов на маневрирующие цели) и гражданских задач (отслеживание объектов беспилотниками). Актуальность обусловлена **необходимостью учета нелинейных траекторий**, которые не описываются классическими методами интерполяции и экстраполяции. Кроме того, существующие нейросетевые подходы часто игнорируют последовательность прохождения точек, что снижает точность прогноза.
   2. **Существующие решения**
      1. **Математическое моделирование** — эффективно только для линейных или полиномиальных траекторий.
      2. **Нейронные сети общего назначения** — не учитывают последовательность точек и пространственную привязку, что ограничивает их применение.
      3. **Рекуррентные сети** — частично решают проблему последовательности, но требуют сложной обработки данных.
   3. **Постановка задачи**  
      Требуется разработать нейронную сеть, которая:
      1. Учитывает **последовательность прохождения точек** траектории.
      2. Отражает **пространственную привязку** объекта к участку местности.
      3. Работает с **нелинейными траекториями** без сложных математических преобразований.
      4. Обеспечивает **режим реального времени** с балансом между точностью и вычислительной нагрузкой.
   4. **Предлагаемое решение**  
      Авторы предлагают **пространственно-закреплённую рекуррентную нейронную сеть** (НС), где:
      1. Каждый нейрон соответствует точке или области пространства.
      2. Архитектура включает **рекуррентные связи**, что позволяет учитывать последовательность точек.
      3. Используются алгоритмы обучения:
         * **Модифицированное правило Хебба** — с коэффициентом забывания для адаптации к новым данным.
         * **Правило Видроу-Хоффа** — для минимизации ошибки через итеративное обучение.
         * **Алгоритм Кохонена** — с коррекцией весов в окрестности нейрона-победителя.
      4. Обучение проводится на статистических данных, где входной вектор отражает принадлежность точек к траектории (1 — присутствует, 0 — отсутствует).

**Преимущества**: Сеть демонстрирует высокую точность прогноза даже для сложных траекторий. Учет пространственной привязки снижает влияние шумов и улучшает адаптацию к изменениям. Возможность масштабирования на гиперпространство (3D и более). **Ограничения**: Высокая вычислительная нагрузка при большом количестве нейронов. Зависимость от качества обучающих данных и выбора коэффициентов. **Перспективы**: Применение в военных системах наведения, гражданской авиации, прогнозировании движения морских объектов и даже в финансовой аналитике. Интеграция с методами снижения шумов и оптимизации параметров для работы в реальном времени.

1. АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ. Мельников П.Н.
   1. **Актуальность**  
      Прогнозирование траектории движения цели критически важно для эффективной работы зенитных артиллерийских комплексов. Актуальность работы обусловлена **необходимостью минимизации ошибок прогноза** в условиях:
      1. Отсутствия информации о будущих маневрах цели.
      2. Погрешностей измерений параметров движения (дальность, углы, скорость).
      3. Ограничений неуправляемой траектории снаряда.
   2. **Существующие решения**
      1. **Фильтрация параметров движения** (координаты, скорости, ускорения) с использованием апериодических фильтров.
      2. **Прогнозирование через разложение в ряд Тейлора** в прямоугольной системе координат.
      3. **Преобразование данных** из сферической системы координат (измерения) в прямоугольную (прогноз). Однако, эти методы имеют недостатки: высокие ошибки для криволинейных траекторий (круговые, пикирование), зависимость точности от степени производных и времени прогноза.
   3. **Постановка задачи**  
      Требуется разработать алгоритм прогнозирования, который:
      1. Учитывает **непредсказуемые маневры цели** (изменение скорости, направления).
      2. Минимизирует **методические погрешности** для сложных траекторий.
      3. Обеспечивает баланс между точностью фильтрации и устойчивостью к шумам.
      4. Работает в режиме реального времени с ограниченными вычислительными ресурсами.
   4. **Предлагаемое решение**  
      Автор предлагает **два алгоритма прогнозирования**:
      1. Разложение в ряд Тейлора для прогноза координат на основе текущих оценок скорости и ускорения. Эффективен для прямолинейных и параболических траекторий, но дает ошибки при круговом движении.
      2. Прогнозирование в системе координат, связанной с **вектором скорости цели**. Учитывает продольное и поперечное ускорения, что снижает ошибки для криволинейных траекторий.

**Преимущества**: Прогнозирование в системе координат, связанной с вектором скорости цели снижает ошибки на 20–30% для маневренных целей. Фильтрация параметров улучшает устойчивость к шумам измерений. **Ограничения**: зависимость точности от времени прогноза, особые точки в расчетах (например, при нулевой горизонтальной скорости). **Перспективы**: интеграция с адаптивными алгоритмами для автоматического выбора оптимального метода прогноза. Применение машинного обучения для предсказания маневров на основе исторических данных.