

ЧИСЛЕННАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ОЦЕНКЕ ТРАЕКТОРИИ СРЕДСТВ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Копейкин А.А.

Московский авиационный институт, Москва

Ключевые слова: кубатурный фильтр, сигма-точечный фильтр Калмана, фильтрация, аддитивный шум, траектория движения, ковариация.

Аннотация. В данной работе рассматривается алгоритм фильтрации данных для оценки вектора состояния динамической системы с использованием ряда неполных и зашумленных измерений в задаче оценивания траектории движения транспортных средств, в том числе беспилотных автомобилей. Описана актуальность и преимущества применения алгоритма для беспилотных систем в транспортных средствах.

NUMERICAL NONLINEAR FILTERING IN ESTIMATING THE TRAJECTORY OF VEHICLES

Kopeikin A.A.

Moscow aviation institute, Moscow

Keywords: cubature filter, unscented Kalman filter, filtering, additive noise, motion trajectory, covariance.

Abstract. In this paper, we consider a data filtering algorithm for estimating the state vector of a dynamic system using a number of incomplete and noisy measurements in the task of estimating the trajectory of vehicles, including unmanned vehicles. The relevance and advantages of using the algorithm for unmanned systems in vehicles are described.

Определение наиболее точного значения состояния динамической системы по результатам его неточного измерения является актуальной задачей, которая имеет множество применений, таких как наведение, навигация и управление самолетами, космическими аппаратами и судами, и приобретающая в настоящее время все большую популярность в связи с быстрым развитием высокотехнологических проектов, использования беспилотных систем в транспортных средствах.

Использование беспилотных автомобилей дает свои преимущества в каждом из видов. Для легковых – это повышение пропускной способности, экономия топлива, возможность передвижения для всех категорий граждан, экономия времени во время передвижения; грузовых: экономия топлива за счет координации управления потоком, повышение эффективности использования топлива, снижение стоимости транспортных перевозок за счет экономии на заработной плате водителей, перевозка грузов в опасных условиях; пассажирских: повышение пропускной способности, увеличение вместительности пассажиров.

В сфере контроля и мониторинга передвижения объектов одной из наиболее важных задач является определение их местоположение. Для определения точных координат различных объектов, скорости их движения и

других факторов используют систему глобальной спутниковой навигации и другие данные измерений, полученные с датчиков и сенсоров: камер, лидаров и радаров. Но каждый из датчиков имеет свои ограничения и результаты измерений, полученные различными датчиками, часто имеют неточности в измерениях из-за влияния дрейфа сигнала или шума. Проблема камер – ограниченная зона видимости и загрязнение оптики. Лидар и радары сканируют пространство вокруг, но точность может быть плохой, т.к. сигналы могут быть зашумленными из-за погодных условий и множества других внешних воздействий. Короткая длина волны лидара позволяет обнаруживать небольшие объекты с высоким разрешением, но измерение может быть шумным во время дождя, снега и смога. Радар имеет большую дальность действия и более надежен, но имеет меньшее разрешение. Средства навигации для определения местоположения, также принимают зашумленные сигналы из-за погодных условий или, например, сигнал от спутников может многократно отражаться от стен и приходит с опозданием, вследствие чего, будет получена некорректная геопозиция объекта.

Для решения этой задачи применяют различные алгоритмы фильтрации данных.

Одним из таких алгоритмов является фильтр Калмана. Суть данного фильтра сводится к поиску оптимальных значений состояния и параметров системы, которые не противоречат реальным измеренным данным и эволюции системы во времени. Он обновляет веса неопределенности между измерениями и оценками в зависимости от того, насколько мы доверяем конкретному датчику или модели, что приводит к наилучшей оценке точного местоположения. Вычисление состояний системы осуществляется рекурсивно, благодаря такой итеративной работе данный алгоритм можно использовать для отслеживания перемещающегося объекта в режиме реального времени.

Фильтр Калмана широко используется для оценки положения и скорости автомобиля. Оценка вектора состояния динамической системы происходит с использованием ряда неполных и зашумленных измерений.

Работа фильтра Калмана состоит из двух основных этапов: этапа прогнозирования и этапа обновления (коррекция). На этапе прогнозирования, также называемым априорной оценкой фильтр Калмана производит оценки переменных текущего состояния по оценке состояния с предыдущего шага, а также их неопределенностей. Этап обновления дополняет априорную экстраполяцию соответствующими текущими измерениями для коррекции оценки, которая становится апостериорной оценкой. На этом этапе используются последние измерения, чтобы обновить оценку и неопределенность.

Для получения более точных прогнозов, чем для каждого отдельного датчика используется объединение показаний датчиков. Путем слияния данных измеренных лидаром и радаром он дает возможность объединить измерения от разных датчиков с математической моделью, которая предсказывает местоположение автомобиля. Ошибки измерения многих датчиков не связаны между собой, т.е. ошибка измерения одного датчика не вызвана другим датчиком.

Обычный фильтр Калмана работает только с линейными системами, что накладывает ограничения в применении, т.к. в реальности большинство процессов являются нелинейными. Зависимость состояния и параметров от модели измеряемых данных может быть нелинейной, например, радарные измерения нелинейны. При этом описать явно в аналитическом виде зависимость искомого состояния или параметра от измеряемой датчиком величины не всегда возможно. В таких случаях используют нелинейные фильтры Калмана. К ним относятся расширенный фильтр Калмана (ЕКФ) кубатурный фильтр Калмана (СКФ) и ансамбльный (сигма-точечного) фильтр Калмана (УКФ), которые используют линеаризацию, а СКФ и УКФ линеаризацию методом пробных точек [1, 2].

В данной работе на примере задачи оценивания траектории движения средства передвижения рассматривается сравнительный анализ популярных в настоящее время кубатурного фильтра Калмана (СКФ) и ансамбльного (сигма-точечного) фильтра Калмана (УКФ). В отличие от более точного гауссовского фильтра Калмана (ГКФ), являющегося ковариационным приближением к оптимальному фильтру Стратоновича, который применим к системам наблюдения с не дифференцируемыми нелинейностями, СКФ и УКФ снимают проблему сложного аналитического нахождения структурных функций ГКФ, заменяя соответствующие интегралы численной формулой Гаусса.

Теоретически обоснованный СКФ является частным случаем эвристически-параметрического УКФ. Если в уравнениях УКФ свободные параметры α , β , κ положить равными 1, 0, 0, то получим СКФ. Благодаря наличию этих параметров УКФ по сравнению с СКФ является более точным, но требует ручной подстройки под конкретную задачу [3].

Рассматриваемые фильтры реализованы в виде программного обеспечения на языке программирования MATLAB. Оно протестировано на двух примерах и применено для решения двумерной задачи оценивания траектории движения средства передвижения. В результате проведенной сравнительной характеристики установлено, что кубатурный и ансамбльный фильтры Калмана являются достаточно точными методами для определения и корректирования местоположения подвижных и неподвижных наземных транспортных средств.

Список литературы

1. Julier S., Uhlmann J. Unscented Filtering and Nonlinear Estimation // Proc. IEEE. 2004, vol. 92, no. 3, pp. 401-422.
2. Arasaratnam I., Haykin S. Cubature Kalman Filters // IEEE Trans. Automat. Control. 2009, vol. 54, no 6, pp. 1254-1269.
3. Куликова М.В., Куликов Г.Ю. Численные методы нелинейной фильтрации для обработки сигналов и измерений // Вычислительные технологии. – 2016. – Т. 21, № 4. – С. 64-98.

Сведения об авторе:

Копейкин Александр Александрович – магистрант.