

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ СОПРОВОЖДЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, СОВЕРШАЮЩИХ СПИРАЛЬНЫЙ МАНЕВР

А.С. СОЛОНАР, П.А. ХМАРСКИЙ

*Военная академия Республики Беларусь
пр-т Независимости, 220, г. Минск, 220057, Республика Беларусь
andsnew@yandex.ru, pierre2009@mail.ru*

Представлены результаты сопоставительного моделирования работы алгоритмов дискретной фильтрации при сопровождении баллистического объекта, совершающего спиральный манёвр при возвращении в атмосферу.

Ключевые слова: сопровождение баллистических объектов, фильтр Калмана при косвенных измерениях, ансцентный фильтр Калмана, возвращение в атмосферу, спиральный маневр.

Баллистические объекты (БО) труднее сопровождают, чем аэродинамические летательные аппараты [1, 2]. Если сопровождение ведётся за пределами атмосферы и БО не может маневрировать, то его движение хорошо предсказуемо, поскольку единственной силой, действующей на неё, оказывается гравитация. Наиболее сложным участком сопровождения является атмосферный, где поведение БО становится менее предсказуемым из-за асимметрии в конструкции БО, которая может вызвать движение по спирали [1]. Кроме того, возникающие замедления могут восприниматься как манёвр [1]. В этом случае потребуются более совершенные стратегии сопровождения для уверенности в том, что будет обеспечиваться высокая точность определения местоположения БО и его параметров движения. Из открытых публикаций зарубежных авторов [1, 2] известно, что наиболее распространённым методом решения данной проблемы является использование модификаций фильтра Калмана при косвенных измерениях (ФК). Такие методы фильтрации успешно применяются как для сопровождения аэродинамических летательных аппаратов [3, 4], так и БО. Однако эти методы фильтрации могут не показать состоятельную и надёжную работу при оценивании состояния БО, совершающих сложный или непредсказуемый манёвр [1, 2]. Учет нелинейной динамики БО возможен при использовании методов нелинейной дискретной фильтрации, к которым относят ансцентный фильтр Калмана (АФК) [5, 6].

Цели доклада: рассмотреть модель движения БО, совершающего спиральный манёвр при возвращении в атмосферу, продемонстрировать особенности построения модификаций ФК и АФК при сопровождении БО, привести сопоставительный анализ результатов фильтрации АФК и модификаций ФК.

Сопоставительное моделирование проводилось при помощи комплекса моделирования и экспериментальных исследований, схема которого изображена на рис. 1. Рассматривались следующие алгоритмы дискретной фильтрации [3, 5, 6]: 1) дискретный ФК при наблюдении независимых прямоугольных координат; 2) дискретный ФК при наблюдении коррелированных прямоугольных координат; 3) дискретный АФК. Задающее воздействие представляло собой атмосферный участок траектории БО, совершающего спиральный манёвр (см. рис. 2, а). Условия проведения моделирования соответствуют работе [1] для случая с постоянной спиральной частотой вращения.

Было принято, что в вектор наблюдаемых параметров θ входят оценки радиальной дальности, азимута β и угла места ε , интервал обновления данных равен T . Данные наблюдения соответствуют выходу устройства разовых оценок трехкоординатной РЛС кругового обзора.

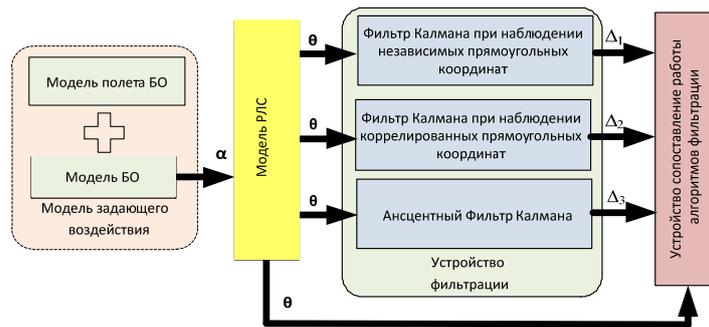


Рис. 1. Комплекс моделирования и экспериментальных исследований

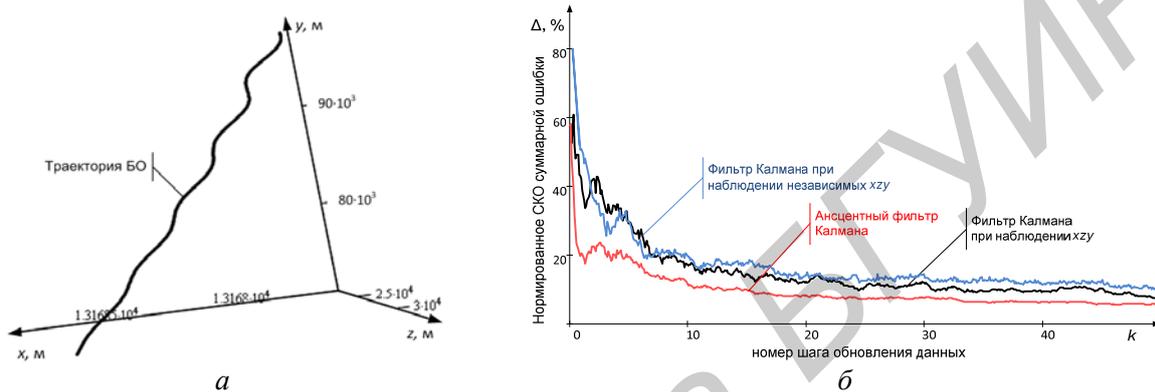


Рис. 2. Результаты моделирования: а – траектория БО; б – нормированная суммарная ошибка измерения местоположения для различных алгоритмов дискретной фильтрации

В результате фильтрации вектора θ в различных модификациях дискретных фильтров необходимо получить оценку вектора состояния α , в который входят прямоугольные координаты, скорости их изменения, а также (для варианта АФК) гармонические параметры состояния и спиральная частота вращения БО [1]. В процессе моделирования получены СКО суммарной ошибки измерения местоположения цели, которые усреднялись по 1000 опытным реализациям, а затем нормировались относительно входного воздействия. Анализ рисунка 2, б показывает, что все предложенные алгоритмы фильтрации позволяют уменьшить разовую ошибку измерения, однако АФК имеет лучшие показатели качества, чем модификации ФК (до 15% относительно ФК при наблюдении независимых xzy , и до 10% относительно ФК при наблюдении коррелированных xzy). Это объясняется использованием в АФК алгоритма экстраполяции, учитывающего спиральное вращение БО [1].

Список литературы

1. Kim J., Vaddi S., Menon P., Ohlmeyer E. // IEEE transaction on A&E systems. 2012. Vol.48. №1. P.313-328. Conference on Signal and Data Processing of Small Targets, San Diego. CA. USA. 2001. 23p.
2. Farina A., Ristic B., Benvenuti D. // IEEE transaction on A&E systems. 2002. Vol.38. №3. P.854-867.
3. Хмарский П.А., Солонар А.С. // Доклады БУГИР. 2012. №7. С 47-53.
4. Бар-Шалом Я., Ли Х.Р. // Траекторная обработка. Принципы, способы и алгоритмы: в 2 ч. Пер. с англ. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011.
5. Julier S., Uhlmann J. // IEEE Trans. on Automatic Control. 2000. Vol.45. №3. P.477-482.
6. Хмарский П.А., Солонар А.С. // Доклады БУГИР. 2013. №2. С 79-86.