

УДК 681.5.03.033

А.А. Ковальчук

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОПРОВОЖДЕНИЯ МАНЕВРИРУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ ПО РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЛС

Без маневрирования средств воздушного нападения при преодолении системы ПВО или выполнении иных задач не обходится ни одна боевая операция. Растущие маневренные возможности и возможность выполнения новых видов маневра (например, с отклонением вектора тяги) приводят к появлению новых тактических приемов ведения воздушного боя для современных истребителей. При сопровождении таких целей радиолокационными средствами ПВО возникает ряд проблем, в том числе и проблема обеспечения устойчивости сопровождения. В статье проведена оценка устойчивости сопровождения сверхманевренных целей многоканальной РЛС с антенной решеткой для подсистемы автосопровождения по радиальной скорости. Проанализировано влияние периода измерения координат на устойчивость сопровождения.

Ключевые слова: устойчивость, радиальная скорость, сопровождение, маневр.

Введение

Сопровождение целей в многоканальных РЛС с антенной решеткой осуществляется радиотехническими следящими системами (РТСС) по угловым координатам, дальности и радиальной скорости. Основной характеристикой устойчивости сопровождения является вероятность отсутствия срыва слежения в течение определенного интервала времени. Для ее расчета предлагается использовать вместо реальной дискриминационной характеристики эквивалентную кусочно-линейную аппроксимацию [1]. Оценка устойчивости автосопровождения можно проводить путем сопоставления ошибки с полушириной эквивалентного размера апертуры характеристики дискриминатора. Срыв слежения происходит при достижении ошибкой сопровождения величины, равной половине ширины эквивалентной характеристики.

Для синтеза структуры РТСС РЛС ЗРК наиболее часто применяется модель движения маневрирующих объектов [2], в которой составляющие вектора ускорения объекта полагаются взаимно независимыми экспоненциально коррелированными случайными процессами. Синтез алгоритма оценивания состояния объекта при такой плотности распределения вероятностей составляющих вектора ускорения проводится в рамках теории оптимальной линейной фильтрации, что приводит к простым структурам алгоритмов сопровождения.

Однако при сопровождении сверхманевренных целей [3] целесообразность применения таких алгоритмов становится проблематичной.

Цель статьи. Целью статьи является оценка устойчивости сопровождения сверхманевренных летательных аппаратов многоканальной РЛС с ФАР по радиальной скорости, а также анализ влияния на устойчивость сопровождения периода измерения координат и точности наблюдений.

Исходные данные

и результаты моделирования

Как известно [4], для заданных моделей задающего и мешающего воздействий система сопровождения, оптимальная по критерию минимума среднего квадрата ошибки, описывается следующими рекуррентными уравнениями оценивания и экстраполяции:

$$\hat{\bar{x}}(t_n) = \hat{\bar{x}}_e(t_n) + K(t_n) y(t_n); \quad (1)$$

$$\bar{x}_e(t_n + T_n) = \Phi(T_n) \hat{\bar{x}}(t_n), \quad (2)$$

где $\hat{\bar{x}}(t_n)$ – вектор-столбец, состоящий из оценок радиальной скорости и производной, а $\bar{x}_e(t_n)$ – вектор-столбец их экстраполированных значений; $\Phi(T_n)$ – переходная матрица состояния; $K(t_n)$ – матрица коэффициентов усиления.

Расчет вероятности отсутствия срыва сопровождения выполнялся для случая, когда структура и параметры систем, определяемые уравнениями (1) – (2), полностью адекватны модели движения цели [2], описываемой стохастическим рекуррентным матричным уравнением состояния

$$\bar{x}(t_n + T_n) = \Phi(T_n) \bar{x}(t_n) + B \eta(t_n), \quad (3)$$

где B – матрица возбуждения; $\eta(t_n)$ – последовательность белых шумов возбуждения.

Исходные данные модели движения цели выбирались исходя из высокой вероятности совершения целью интенсивного маневра (среднеквадратическое ускорение 65 м/с^2 , постоянная маневрирования 5 с), а статистические характеристики частотного дискриминатора получены путем моделирования [5].

В результате проведенного моделирования получены графики зависимости вероятности P_{1vr} отсутствия срыва слежения по радиальной скорости на

одном интервале наблюдений от периода измерения T_n при различном отношении сигнал/шум (ОСШ). Методика расчета вероятности P_{1vr} приведена в [1].

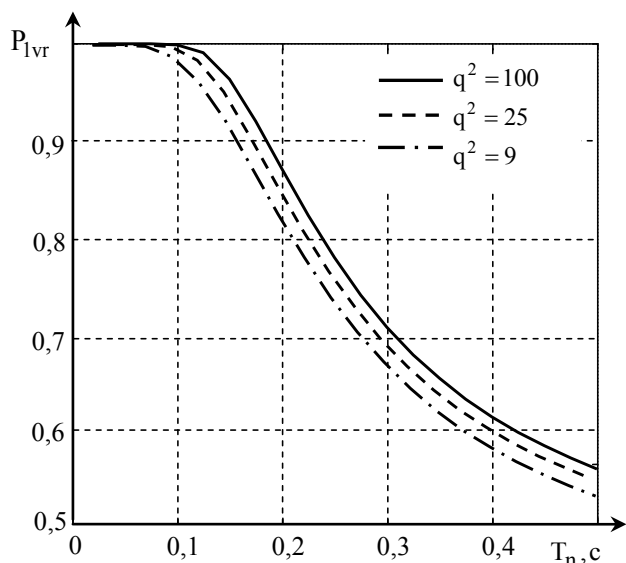


Рис. 1. График зависимости вероятности P_{1vr} от периода измерения T_n при различном ОСШ

Вероятность P_{vr}^{Tc} отсутствия срыва слежения в течение определенного времени нахождения цели на сопровождении определяется как произведение вероятностей P_{1vr} отсутствия срыва слежения на всех интервалах наблюдений. В случае, если период измерения $T_n = const$ и вероятность отсутствия срыва слежения P_{1vr} на всех интервалах одинакова, вероятность P_{vr}^{Tc} определяется следующим выражением

$$P_{vr}^{Tc} = P_{1vr}^{Tc/Tn}, \quad (4)$$

где T_c – время нахождения цели на сопровождении.

Проведен расчет вероятности отсутствия срыва P_{vr}^{100} за 100с сопровождения.

На рис. 2 приведены графики зависимостей вероятности P_{vr}^{100} от периода измерения T_n при различном ОСШ. Из анализа приведенных графиков можно заключить, что при малом ОСШ период измерения координат должен быть не более 0,025с, а при большем не должен превышать 0,1с.

Другой важной характеристикой устойчивости сопровождения является среднее время до срыва слежения.

В случае, когда вероятность отсутствия срыва сопровождения на интервале T_c удовлетворяет условию (4), среднее время до срыва слежения определяется выражением

$$\bar{T}_{c\,vr} = \frac{P_{1vr}}{1-P_{1vr}} T_n. \quad (5)$$

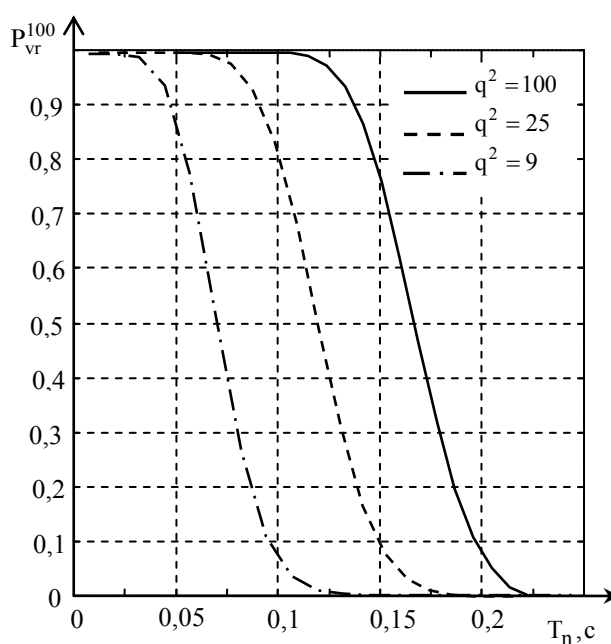


Рис. 2. График зависимости вероятности отсутствия срыва слежения за 100 с от периода измерения T_n при различном ОСШ

Зависимости среднего времени до срыва слежения от периода измерения координат для системы сопровождения по радиальной скорости приведены на рис. 3.

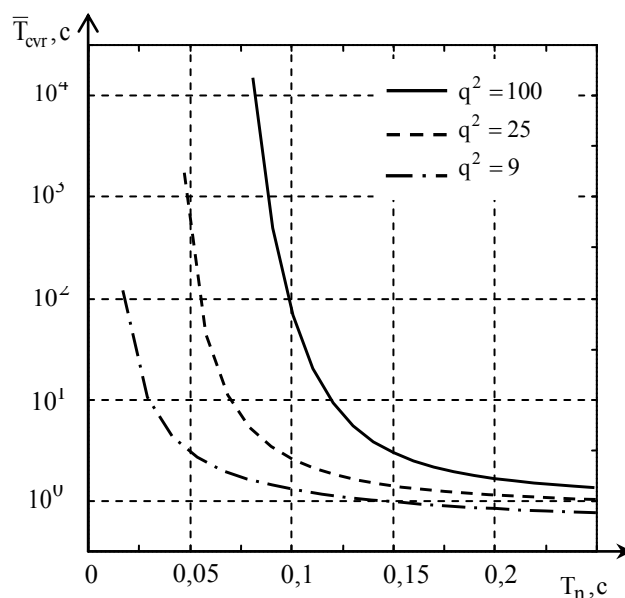


Рис. 3. График зависимости среднего времени до срыва слежения от периода измерения T_n при различном ОСШ

Из анализа графиков следует, что при малых ОСШ ($q^2 = 9$) среднее время до срыва слежения составляет единицы секунд, что является недостаточным.

Выводы

1. Система сопровождения по радиальной скорости имеет существенно более низкую устойчивость сопровождения в сравнении со следящими системами по дальности и по угловым координатам [6]. В частности, среднее время до срыва сопровождения по радиальной скорости может быть гораздо меньшим в сравнении с другими следящими системами.

2. При малых ОСШ среднее время до срыва сопровождения по радиальной скорости может достигать до нескольких секунд, что существенно меньше среднего времени нахождения цели на сопровождении в цикле боевой работы ЗРК.

3. В системе сопровождения по радиальной скорости с увеличением периода $T_n > 0,1$ с, основной составляющей ошибки экстраполяции (сопровождения) является динамическая составляющая.

4. Целесообразно осуществлять поиск адаптивных структур систем сопровождения по радиальной скорости, которые позволяют повысить устойчивость сопровождения маневрирующих целей, особенно при малых значениях ОСШ.

Список литературы

1. Хисматулин В.Ш. Оценка устойчивости сопровождения целей с помощью эквивалентного размера апертуры характеристики дискриминатора / В.Ш. Хисматулин, А.А. Ковальчук, О.О. Сосунов, И.И. Сачук // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 2. – С. 125-132.

2. Зингер Р.А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью / Р.А. Зингер // Зарубежная радиоэлектроника. – 1971. – № 8. – С. 40-57.

3. Канащенков А. Сверхманевренность и бортовые радиолокационные системы / А. Канащенков, В. Корчагин, В. Меркулов, О. Самарин // Радиотехника. – 2002. – № 5. – С. 43-50.

4. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении: Пер. с англ. / Э. Сейдж, Дж. Мелс. – М.: Связь, 1976. – 496 с.

5. Мураченко Н.К. Общие сведения о ЗРС 9К81-1 и МСНР 9С32 / Н.К. Мураченко, Г.И. Насонов, С.В. Кривоурчко. – К.: КВИРТУ, 1988. – 144 с.

6. Хисматулин В.Ш. Оценка устойчивости сопровождения по дальности и угловым координатам сверхманевренных летательных аппаратов многоканальной РЛС / В.Ш. Хисматулин, Г.Н. Зубрицкий, О.Н. Ставицкий, А.А. Ковальчук // Системи обробки інформації. – Х.: ХВПС, 2009. – Вип. 4(78). – С. 130-133.

Поступила в редколлегию 24.12.2009

Рецензент: канд. техн. наук, проф. В.Ш. Хисматулин, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СУПРОВОДЖЕННЯ МАНЕВРУЮЧИХ ЦІЛЕЙ ПО РАДІАЛЬНІЙ ШВИДКОСТІ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ РЛС

А.А. Ковальчук

Без маневрування засобів повітряного нападу при подоланні системи ППО або виконанні інших завдань не обходиться жодна бойова операція. Зростаючі маневрені можливості сучасних винищувачів приводять до нових тактичних прийомів повітряного бою, використовуючи нові види маневру (особливо літаки з відхилюваним вектором тяги). При супроводженні таких літальних апаратів РЛС виникає ряд питань, зокрема стійкості функціонування радіотехнічних слідкуючих систем. У статті проведена оцінка стійкості супроводження надманеврених цілей багатоканальною РЛС з антенною решіткою для підсистеми автосупроводження по радіальній швидкості. Проаналізований вплив періоду вимірювання координат на стійкість супроводження.

Ключові слова: радіальна швидкість, супроводження, маневр.

ESTIMATION OF STABILITY OF MANOEUVRING TARGET TRACKING BY RADIAL VELOCITY IN MULTICHANNEL RADAR

A.A. Koval'chuk

There are no combat tasks of the air attack means that would not presume their maneuvers when breaking through the air defense system. Rising maneuvering capabilities of modern fighter aircraft lead to new tactical ways of air combat using new kinds of maneuver (this is especially true for the aircraft with deflectable thrust vector). When tracking such aircraft in radar, some issues appear including those of functional stability of radar tracking systems. In the paper, stability of the super maneuvering targets tracking by multi-channel radar with antenna array is analyzed with respect to its subsystem of tracking by radial velocity. The influence of coordinate measurement repetition interval on the tracking stability is analyzed.

Keywords: radial velocity, tracking, maneuver.