

ВЫБОР КРИТЕРИЯ УПРАВЛЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЯМИ ПРИ СОПРОВОЖДЕНИИ НЕСКОЛЬКИХ ЦЕЛЕЙ В РЛС С ФАР

В. Ш. Хисматуллин, канд. техн. наук, И.А.Кулинич

Харьковский военный университет

Осуществляется постановка задачи управления наблюдениями в режиме сопровождения для РЛС с ФАР. Предложен критерий управления наблюдениями на основе поддержания требуемой точности и устойчивости сопровождения целей.

* * *

Здійснюється постановка задачі керування спостереженнями в режимі супроводу для РЛС з ФАР. Пропонується критерій керування спостереженнями на основі підтримки потрібної точності та стійкості супроводу цілей.

* * *

Statement of a problem of management by supervisions in a support mode for RLS with PAL is made. The criterion of management by supervision on the maintenance basis of required accuracy and stability of the purposes support is offered

Постановка проблемы. Гибкость формирования и управления лучом в многофункциональных РЛС с ФАР позволяет реализовать управление распределением временных затрат, выделяемых на сопровождение целей [3, 6 и др.]. Задача управления наблюдениями заключается в принятии решения о необходимости радиолокационного контакта с одним из N сопровождаемых объектов в очередной момент времени $t_n = nT$, где T – минимальный реализуемый интервал между радиоконтактами.

Цель статьи. Необходимо найти такую совокупность векторов $\bar{u}(1), \bar{u}(2), \dots, \bar{u}(n), \dots$, при которой последовательность соответствующих наблюдений N целей доставляет минимум функционалу качества управления.

Основной материал. Вектор-столбец управлений $\bar{u}(n) = [u_1(n), u_2(n), \dots, u_N(n)]^T$ имеет следующие свойства:

$$u_i(n) = \begin{cases} 1, & \text{если наблюдается } i\text{-я цель,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N u_i(n) = \begin{cases} 1, & \text{если принято решение} \\ & \text{о необходимости наблюдения,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Принятие решения о выборе очередной цели осуществляется по решающему правилу

$$u_i(n) = \begin{cases} 1, & \text{для } i: J(n) = \max_i C_i \rho_i(n), \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (2)$$

где $\rho_i(n)$ – стоимость наблюдения i -й цели;

C_i – весовой коэффициент, определяемый значимостью i -й цели.

Таким образом, результат решения задачи синтеза алгоритма, управляющего наблюдениями в режиме сопровождения, полностью определяется видом функций $\rho_i(n)$. Принятие решения о наблюдении цели определяется требованиями к точности координатной информации и к обеспечению устойчивого (бессрывного) сопровождения.

Требования к точности координатной информации могут быть предъявлены только к некоторым из сопровождаемых координат, а в некоторых случаях – вообще не заданы.

Устойчивость сопровождения характеризуется вероятностью попадания отметки от цели в пределы стробов сопровождения по всем координатам в очередном радиоконтакте

$$P_{ic}(n) = \prod_{\xi} P_{ic\xi}(n), \quad (3)$$

где $P_{ic\xi}(n)$ – вероятность попадания отметки от i -й цели в пределы строба сопровождения по ξ -

й координате $\left(\xi = r, \dot{r}, \varphi, \Theta \right)$.

Особенностью рассматриваемой задачи является единство алгоритмов управления наблюдениями и обработки поступающей информации. Полагаем, что составной частью следящих измерителей являются фильтры, оптимальные по критерию минимума среднего квадрата ошибки оценивания [4]. Как известно [5], при адекватности структуры и параметров фильтров характеристикам внешних воздействий формируемые ими оценки являются несмещенными и эффективными. В этом случае точность координатной информации определяется значениями дисперсий ошибок оценивания $d_{i\xi}(n)$, а устойчивость сопровождения – значениями дисперсий ошибок экстраполяции $d_{i\xi e}(n)$ [7]:

$$P_{ic\xi}(n) = \operatorname{erf} \left[\frac{L_\xi}{2\sqrt{2d_{i\xi e}(n)}} \right], \quad (4)$$

где L_ξ – ширина эквивалентного размера апертуры дискриминатора по ξ -й координате; $\operatorname{erf}(\ast)$ – функция ошибок.

Очевидно, что с учетом (1) дисперсии ошибок экстраполяции и оценивания ξ -й сопровождаемой координаты i -й цели связаны между собой рекуррентными соотношениями

$$\begin{aligned} d_{i\xi e}(n) &= d_{i\xi}(n-1) + \gamma_{i\xi}(n), \\ d_{i\xi}(n) &= d_{i\xi e}(n) - u_i(n)\delta_{i\xi}(n), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\gamma_{i\xi}(n)$ – приращение дисперсии ошибки ξ -й сопровождаемой координаты i -й цели при экстраполяции на период T ;

$\delta_{i\xi}(n)$ – величина уменьшения дисперсии ошибки экстраполяции, если в момент времени nT измеряются (наблюдаются) координаты i -й цели.

На рис. 1 представлены графики эволюции дисперсии ошибок оценивания/экстраполяции координат при отсутствии и проведении наблюдений, построенные согласно (5) при условии

$y = \text{const}, \delta = \text{const}$ (индексы i, ξ в обозначениях на рисунках опущены). На рисунках также приведены требуемые значения дисперсии ошибок оценивания d^0 и экстраполяции d_e^0 .

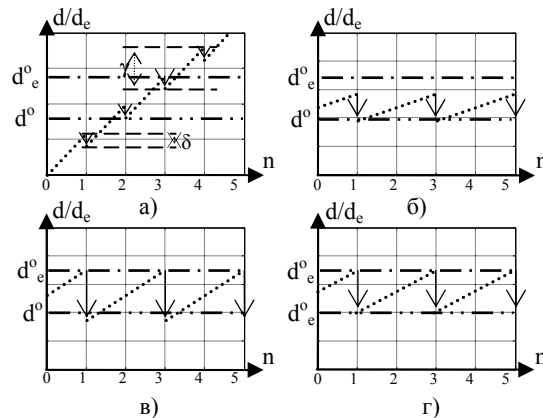


Рис. 1. Зависимость $d/d_e(n)$

Как видно из анализа уравнений (5) и полученных графиков, необходимым условием сопровождения одиночной цели с заданным качеством является требование, чтобы приращение дисперсии ошибки экстраполяции каждой из сопровождаемых координат за минимально возможный период обращения к цели T не превосходило значения величины уменьшения ошибки экстраполяции в результате проведения наблюдения

$$\gamma_\xi(n) \leq \delta_\xi(n), \quad \forall \xi, \quad (6)$$

т. к. в противном случае, как видно из графика (рис. 1, а), даже в случае обращения к цели с минимально возможным периодом T значения дисперсии ошибок оценивания и экстраполяции будут выходить со временем за пределы их граничных значений.

Обобщая этот вывод, можно показать, что необходимое требование для обеспечения устойчивого (бессрывного) сопровождения N целей, находящихся в одинаковых условиях, определяется неравенством

$$\sum_{j=n-N+1}^n \gamma_{i\xi}(j) \leq \delta_{i\xi}(n), \quad \forall \xi, i. \quad (7)$$

В случае выполнения условия обеспечения

устойчивого (бессрывного) сопровождения N целей и в зависимости от соотношения между $\delta_{i\xi}(n)$ и разностью $\Delta d_{i\xi}^0 = d_{i\xi e}^0 - d_{i\xi}^0$ между требуемыми значениями дисперсии ошибок экстраполяции и оценивания i -й цели по ξ -й координате возможны следующие ситуации:

а) $\delta_{i\xi}(n) \leq \Delta d_{i\xi}^0$ (рис. 1, б). Момент следующего радиоконтакта с целью должен определяться требуемой точностью оценивания сопровождаемой координаты, при этом требуемая вероятность устойчивого сопровождения будет обеспечиваться автоматически;

б) $\delta_{i\xi}(n) > \Delta d_{i\xi}^0$ (рис. 1, в). Момент следующего радиоконтакта должен определяться требованиями по обеспечению заданной устойчивости сопровождения, при этом в моменты проведения наблюдений реализуемая точность оценивания будет выше требуемой;

в) $\delta_{i\xi}(n) = \Delta d_{i\xi}^0$ (рис. 1, г). Момент следующего радиоконтакта может определяться как требованиями к точности оценивания, так и требованиями к устойчивости сопровождения.

При невыполнении условия обеспечения устойчивого сопровождения N целей возникают конфликтные ситуации, разрешение которых должно осуществляться на основе правила (2).

Как показал проведенный анализ, стоимость наблюдения i -й цели по ξ -й координате, исходя из характера предъявляемых требований и возможностей по их удовлетворению, должна задаваться следующим образом:

$$\rho_{i\xi}(n) = \begin{cases} \rho_{i\xi}^0(\Delta d_{i\xi}(n)), & \text{при } \delta_{i\xi}(n) < \Delta d_{i\xi}^0, \\ \rho_{i\xi}^e(\Delta d_{i\xi e}(n)), & \text{при } \delta_{i\xi}(n) \geq \Delta d_{i\xi}^0, \end{cases} \quad (8)$$

где $\rho_{i\xi}^0(\Delta d_{i\xi}(n))$ – стоимость наблюдений, определяемая разностью $\Delta d_{i\xi}(n) = d_{i\xi}(n) - d_{i\xi}^0$ между реализуемой и требуемой в момент nT точностью оценивания;

$\rho_{i\xi}^e(\Delta d_{i\xi e}(n))$ – стоимость наблюдений, определяемая разностью $\Delta d_{i\xi e}(n) = d_{i\xi e}(n) - d_{i\xi e}^0$ между реализуемой и требуемой в момент nT дисперсией ошибки экстраполяции (устойчивостью сопровождения).

Для исключения проведения наблюдений в случае, когда к очередному моменту времени для всех целей выполняются заданные требования по точности координатной информации и по устойчивости сопровождения, функции $\rho_{i\xi}^0(\Delta d_{i\xi})$, $\rho_{i\xi}^e(\Delta d_{i\xi e})$ должны быть равны нулю при отрицательных значениях своих аргументов и монотонно нарастать при положительных значениях.

Отметим также, что, за исключением особых случаев, приоритет должен отдаваться наблюдению тех целей, для которых нарушаются требования по обеспечению устойчивости сопровождения. Поэтому начальное значение ρ_0 функции $\rho_{i\xi}^e(\Delta d_{i\xi e})$ должно быть равно конечному значению функции $\rho_{i\xi}^0(\Delta d_{i\xi})$. Возможный вариант соответствующих зависимостей приведен на рис. 2, а, б.

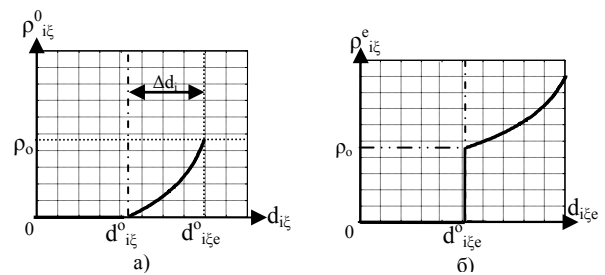


Рис. 2. Зависимость $\rho_{i\xi}$ от $d_{i\xi}$

При формировании функций стоимости $\rho_{i\xi}^e(\Delta d_{i\xi e})$ необходимо также учитывать характер зависимости между дисперсией ошибки экстраполяции и вероятностью попадания отметки от цели в пределы строга сопровождения по каждой из сопровождаемых координат [7, 8]. В частно-

сти, значения порогов следует устанавливать такими, при которых вероятности $P_{ic\xi}(n)$ одинаковы для всех координат данной цели.

В РЛС сопровождение цели по всем координатам осуществляется параллельно, т.е. с использованием одного и того же сигнала, отраженного от данной цели. Поэтому стоимость наблюдения i -й цели $\rho_i(n)$, а, следовательно, и период обращения к ней, будет определяться той системой сопровождения, для которой стоимость наблюдения будет иметь максимальное значение

$$\rho_i(n) = \max_{\xi} \{ \rho_{i\xi}(n) \} \quad (9)$$

Выводы

Как известно, наилучшими возможностями по увеличению периода обращения обладает система сопровождения по радиальной скорости. В связи с этим в целях повышения пропускной способности РЛС возникает задача согласования (выравнивания) возможностей системы сопровождения по радиальной скорости с остальными системами. В работе [2] предложено использование адаптивных фильтров сопровождения по радиальной скорости, но, как показывают результаты моделирования, это приводит к незначительному увеличению периода обращения при значительном усложнении структуры системы и росте необходимых вычислительных затрат. Поэтому необходимо осуществить поиск новых путей повышения пропускной способности РЛС с доплеровским каналом. Одно из возможных направлений решения данной задачи заключается в преднамеренном снижении требований к точности и устойчивости сопровождения по радиальной скорости вплоть до отказа от сопровождения.

Литература

1. Зингер Р.А., Бенке К.В. Оценка характе-

ристик и выбор фильтров сопровождения в реальном масштабе времени для тактических систем вооружения // Зарубежная радиоэлектроника, – 1972. – №1. – С. 44 – 60.

2. Ковальчук А.А. Структура алгоритма сопровождения с адаптивным рециркулятором сигнала ошибки для повышения устойчивости сопровождения маневрирующих целей по радиальной скорости // Системы обработки информации. Выпуск 1(21). – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 2002. – С. 56 – 60.

3. Можар М.К., Решетник В.М., Гришин И.Ю. Проблемы управления зенитными ракетными комплексами // Наука и оборона. – К.: 1994. – №3. – С.37 – 44.

4. Первачёв С.В. Радиоавтоматика. – М.: Радио и связь, 1982. – 296 с.

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

6. Симаранов С.Ю. Адаптивное управление параметрами режима сопровождения в многоканальных информационных системах // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, № 2, 1989. 127 – 131.

7. Хисматулин В.Ш., Сачук И.И., Ковальчук А.А. Оценка вероятности надежного сопровождения аэродинамических целей многоканальной радиолокационной станцией // Сборник научных трудов ХГАУ. Выпуск 22. – Х.: ХАИ, 2001. – С. 259 – 262.

8. Хисматулин В.Ш., Сачук И.И., Ковальчук А.А. Организация слежения за аэродинамической целью с достаточной точностью // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Выпуск 125. – Х.: ХДПУ, 2000. – С. 13 – 17.

Поступила в редакцию 29.08.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Барышев И.В., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков