

В.В. Бурлина, С.Н. Данилов

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УГЛОВОЙ КОРРЕКЦИИ
НАЗЕМНОЙ АНТЕННЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ,
СИНТЕЗИРОВАННОГО НА ОСНОВЕ СИСТЕМ
СО СЛУЧАЙНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ СТРУКТУРЫ**

Для получения достаточных энергетических характеристик канала спутниковой связи (КСС) антенны системы (в частности наземные) должны иметь возможно больший коэффициент усиления (КУ).

Обычно оптимальной диаграммой антенны КСС без системы слежения является диаграмма направленности (ДН) с шириной главного лепестка $1...2^\circ$. При ширине ДН менее одного градуса необходимо снабжать антенну системой слежения, так как геостационарные спутники совершают сложные гармонические колебания, которые с Земли имеют вид изменяющейся восьмерки (рис. 1).

Кроме медленных колебаний спутника, возможны изменения положения наземной антенны за счет порывов ветра, вибраций земной поверхности и т.п.

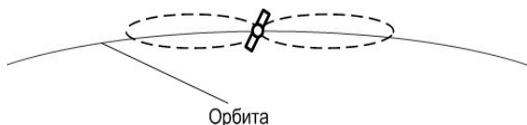


Рис. 1. Колебания спутника-ретранслятора на геостационарной орбите

Таким образом, система слежения КСС должна работать с двумя типами дестабилизирующих факторов: медленные эволюции спутника на орбите – доли градуса в час и быстрые колебания зеркала и облучателя антенны в основном вибрационного характера (до единиц градусов с частотой 1...10 Гц и более) [1].

Решить задачу высокоточного сопровождения космического аппарата (КА), в том числе и в условиях помех по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны, возможно путем применения адаптивных следящих измерителей, в которых в зависимости от ситуации могут изменяться модели следящих фильтров.

Характерными особенностями указанной задачи являются структурная неопределенность (необходимость смены модели системы в случайные моменты времени) и стохастичность процессов в системе. Обе эти особенности являются объективными характеристиками процесса функционирования сложных динамических систем, получивших название стохастических систем со случайной сменой структуры.

Из кинематических уравнений (ограничимся горизонтальной плоскостью) можно получить модель состояния в дискретном виде (далее модель 1):

$$\begin{cases} \varphi(k+1) = \varphi(k) + \omega(k)T - \hat{\omega}_\psi(k)T; \\ \omega(k+1) = (1 - \alpha T)\omega(k) + \xi_1(k), \end{cases} \quad (1)$$

где $\varphi(k)$ – относительное угловое положение КА; $\omega(k)$ – угловая скорость изменения углового положения КА; T – шаг по времени; α – постоянная времени относительного медленного углового перемещения КА; $\xi_1(k)$ – последовательность случайных величин с гауссовской плотностью вероятности; $\hat{\omega}_\psi$ – возможное управляющее воздействие на антенну.

Известно, что в любой группе функционально связанных оцениваемых координат должны наблюдаться как минимум их нулевые производные [2]. В рассматриваемом случае это угловое положение КА.

Для учета быстрых относительных угловых движений КА можно использовать модель со сниженным порядком астатизма [2] или модель вида (1).

$$\begin{cases} \varphi(k+1) = \varphi(k) + \omega(k)T - \hat{\omega}_\psi(k)T; \\ \omega(k+1) = (1 - \beta T)\omega(k) + \xi_2(k), \end{cases} \quad (2)$$

где β – постоянная времени быстрого относительного углового перемещения КА; $\xi_2(k)$ – последовательность случайных величин с гауссовской плотностью вероятности.

Обе модели могут быть представлены в матричной форме:

$$x(k+1) = \Phi^{(i)}(k)x(k) + B^{(i)}(k)u(k) + \xi^{(i)}(k). \quad (3)$$

В соответствии с методом синтеза систем со случайной структурой [3] получен алгоритм функционирования двухмодельного угломера.

Оценки угла, угловой скорости линии визирования на выходе фильтра модели 1 равны:

$$\hat{\varphi}^{(1)}(k+1) = \hat{\varphi}^{(1)}(k) + \hat{\omega}^{(1)}(k)T - \hat{\omega}_\psi(k)T + K^{(1)}(k)v^{(1)}(k); \quad (4)$$

$$\hat{\omega}^{(1)}(k+1) = (1 - \alpha T)\hat{\omega}^{(1)}(k)T + K^{(1)}(k)v^{(1)}(k); \quad (5)$$

модели 2:

$$\hat{\varphi}^{(2)}(k+1) = \hat{\varphi}^{(2)}(k) + \hat{\omega}^{(2)}(k)T - \hat{\omega}_\psi(k)T + K^{(2)}(k)v^{(2)}(k); \quad (6)$$

$$\hat{\omega}^{(2)}(k+1) = (1 - \beta T)\hat{\omega}^{(2)}(k)T + K^{(2)}(k)v^{(2)}(k), \quad (7)$$

где $v^{(i)}$ – невязки фильтра.

Априорная и апостериорная ковариационная матрица дисперсий ошибок определяется для каждой модели на основе выражений, приведенных в [3].

Затем определяются ковариационные матрицы одношагового предсказания вектора наблюдений, а на их основе коэффициенты усиления фильтров:

$$K_{11}^{(i)}(k+1) = -\frac{P_{11}^{(i)}(k+1|k)}{V^{(i)}} \quad \text{и} \quad K_{12}^{(i)}(k+1) = \frac{P_{21}^{(i)}(k+1|k)}{V^{(i)}}.$$

После оценки вероятности номеров структуры системы $W^{(i)}(k+1)$ может быть получена результирующая оценка угловых координат:

$$\hat{\varphi}(k+1) = \sum_i (\hat{\varphi}^{(i)}(k+1)W^{(i)}(k+1)). \quad (8)$$

В таблице 2 приведены ошибки слежения в градусах для различных стадий изменения угла визирования (шаги 0...50, 151...200 и 201...500).

Таблица 2

Диапазон	Среднеквадратическая ошибка слежения, град		
	Модель 1	Модель 2	Модель 3
1...50	0,0075	0,0034	0,0045
151...200	0,09	0,23	0,06
201...500	0,01	0,007	0,007

На рисунке 2 приведены кривые, показывающие изменение ошибок фильтров для этой ситуации.

Линия 1 – ошибка для фильтра на основе модели 2, линия 2 – для фильтра на основе модели 1, линия 3 – взвешенная ошибка. Хорошо видно, что фильтр придерживается той парциальной оценки, ошибка которой меньше.

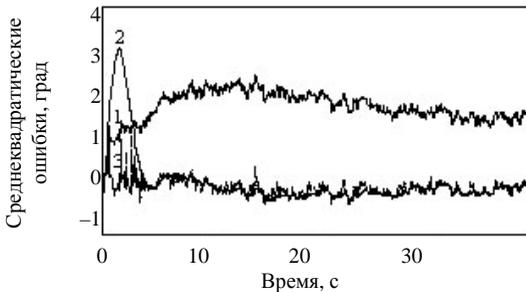


Рис. 2. Изменение ошибок синтезированного и парциальных фильтров

Таким образом, алгоритм, построенный на основе двух моделей методами теории систем со случайной структурой, превосходит по точности обычные алгоритмы. Повышение точности оценивания обусловлено наличием моделей с различными характеристиками, учитывающих различные типы изменения оцениваемого параметра. В целом, результаты статистического моделирования демонстрируют эффективность предлагаемого алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покрас, А.М. Антенны земных станций спутниковой связи / А.М. Покрас и др. – М. : Радио и связь, 1985.
2. Данилов, С.Н. Синтез угломера, функционирующего в переходном режиме на основе теории систем со случайным изменением структуры / С.Н. Данилов, Е.С. Данилов // Радиосистемы. – 2005. – Вып. 86, № 8. – (Радиотехника; № 5).

3. Бухалев, В.А. Основы автоматки и теории управления / В.А. Бухалев. – М. : ВВИА, 2006.

Кафедра «Радиотехника» ГОУ ВПО ТГТУ