

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗА КООРДИНАТ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ НАПРАВЛЕННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ СО СЛУЧАЙНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ СТРУКТУРЫ

С.Н. Данилов¹, А.П. Пудовкин¹, Р.Р. Шатовкин²

*Кафедра «Радиоэлектронные средства бытового назначения»,
ГОУ ВПО «ТГТУ» (1); resbn@jesbytst.ru;
кафедра 31, Тамбовское высшее военное авиационное инженерное
училище радиоэлектроники (Военный институт)*

Представлена членом редколлегии профессором С.В. Мищенко

Ключевые слова и фразы: диаграмма направленности; летательный аппарат; модель движения; область неопределенности; система связи; угловые координаты.

Аннотация: На основе математического аппарата систем со случайным скачкообразным изменением структуры синтезирован алгоритм прогноза координат воздушных объектов для обеспечения функционирования системы направленной связи в диапазоне сверхвысоких частот. Оценены характеристики его точности.

Введение

Управление летательным аппаратом (ЛА) во всех звеньях должно быть устойчивым и непрерывным. Кроме того, обычно к нему предъявляют требования оперативности и скрытности.

Управление ЛА включает:

- обеспечение движения ЛА по рассчитанной траектории;
- вывод ЛА в требуемую точку пространства с вектором скорости заданной величины и направления;
- организацию системы управления, в том числе системы связи и радиотехнического обеспечения.

Цель управления ЛА – обеспечить эффективное использование имеющихся ресурсов в конкретных условиях обстановки для решения поставленных задач в короткие сроки.

Управление ЛА на разных этапах его полета производится с различных командных пунктов (КП), входящих в единую систему управления и имеющих локальную зону ответственности, с передачей управления между ними по мере выхода самолета из поля воздушной связи.

Непосредственное управление экипажами ЛА с обеспечением определенной безопасности полетов производится с пунктов управления (ПУ) через узлы воздушной радиосвязи, обеспечивающие передачу телекодовой информации на борт.

Кратко остановимся на особенностях станции передачи команд (СПК), которая обеспечивает связь с бортовой аппаратурой ЛА. При получении очередного информационного сообщения (команды наведения) аппаратура цифровой обработки информации СПК производит его анализ. В ходе анализа определяется расчетный азимут передачи команд, индивидуальный номер и тип бортовой аппаратуры самолета. В зависимости от результатов анализа производится преобразование смысловой части команды в соответствующий код и хранение его до момента выдачи в эфир.

СПК производит обзор пространства узким лучом диаграммы направленности антенны (ДНА) диапазона СВЧ со скоростью $n_A = 5 \dots 10$ об/мин. При этом в секторе ожидаемого местонахождения самолета $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ периодически производится его адресный запрос по индивидуальному номеру (рис. 1).

Каждый адресный запросный сигнал принимается только «своим» (имеющим заданный индивидуальный номер) самолетом. После этого бортовая аппаратура ЛА формирует индивидуальный адресный ответный сигнал. Этот сигнал излучается бортовым передатчиком и принимается СПК. Принятый сигнал подтверждает факт нахождения ЛА в пределах ДНА СПК. Кроме того, по времени получения и направлению прихода ответного сигнала уточняется местоположение ЛА.

Получив адресный ответный сигнал, СПК излучает команду в виде импульсного кода. В случае отсутствия квитанции СПК повторяет передачу команды данному ЛА и переходит к обслуживанию других самолетов.

Таким образом, в каждый момент времени осуществляется связь только с одним ЛА, а решающая обратная связь используется для достижения высокой вероятности и достоверности передачи команд при минимальных энергетических затратах.

Конструкция антенны обеспечивает формирование остронаправленной ДНА в горизонтальной плоскости. Ее ширина по уровню половинной мощности при работе на передачу $\Delta\varphi_{\text{прд}}$, при работе на прием – $\Delta\varphi_{\text{прм}}$, причем $\Delta\varphi_{\text{прд}} \approx \Delta\varphi_{\text{прм}} = \theta_{Г0,5}$.

В вертикальной плоскости формируется широкая ДНА косекансной формы. Приемный тракт предназначен для усиления принятых антеннами ответных сигналов, их суммарно-разностной обработки, преобразования сигналов сверхвысокой частоты в сигналы промежуточной частоты, усиления, преобразования в видеосигналы, обработки и выдачи на обработку.

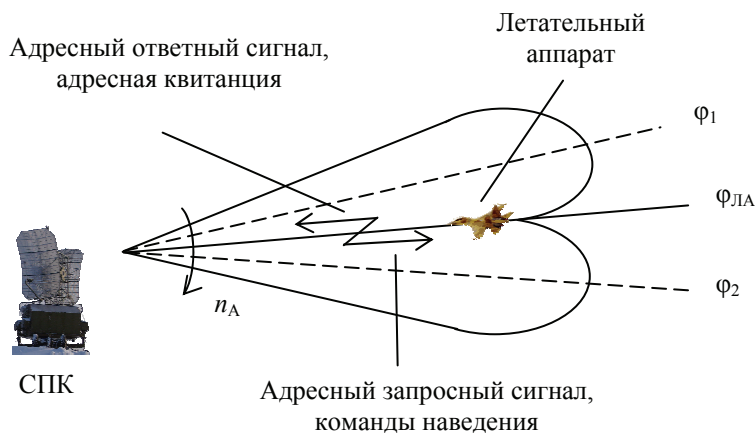


Рис. 1. Схема проведения адресного запроса

Кроме того, от датчика углового положения, который механически связан с редуктором вращения кабины антенно-поворотного устройства, в цифровой форме поступает информация об угловом положении антенн на систему оценки и экстраполяции координат ЛА.

Синтезируем алгоритм дискретного формирования точных оценок и экстраполяции на их основе всех нужных фазовых координат для осуществления связи с ЛА.

1. Постановка задачи

Для решения задачи сопровождения ЛА по угловым координатам используются алгоритмы, основанные на различных моделях, описывающих его движение. Так, для модели движения ЛА с постоянной угловой скоростью в горизонтальной и вертикальной плоскостях алгоритмом его сопровождения является $(\alpha-\beta)$ -фильтр.

Возможно так же создание алгоритма сопровождения ЛА по угловым координатам на основе модели, использующей параметры поступательного движения. При этом интерес представляют проекции вектора линейной скорости ЛА и проекции радиуса кривизны траектории ЛА на горизонтальную и вертикальную плоскости $v_{Г,В}(t)$ и $r_{Г,В}(t)$ соответственно: $\dot{\phi}_{Г,В}(t) = v_{Г,В}(t)/r_{Г,В}(t)$.

Проведенные исследования показали, что средние значения проекций радиуса кривизны траектории, по которой ЛА движется в данный момент времени, на горизонтальную и вертикальную плоскости при интенсивном маневрировании составляют $r_{Г\text{ср}} = 200 \dots 300$ м и $r_{В\text{ср}} = 80 \dots 100$ м соответственно.

Кроме того, результаты исследований параметров движения ЛА при выполнении им различных маневров позволили определить средние значения проекций линейной скорости на горизонтальную и вертикальную плоскости: $v_{Г\text{ср}} = 150 \dots 200$ м/с и $v_{В\text{ср}} = 8 \dots 15$ м/с, соответственно, при значениях среднеквадратических ошибок (СКО): $\sigma_{vГ} = 0,4$ м/с и $\sigma_{vВ} = 4$ м/с [1].

Рассматриваемую модель движения маневренного ЛА в горизонтальной и вертикальной плоскостях поясняет рис. 2.

Моделирование показало, что ни $(\alpha-\beta)$ -фильтр, ни алгоритм на основе модели, использующей параметры поступательного движения, не способны в течение всей рассматриваемой тактической ситуации обеспечивать устойчивое

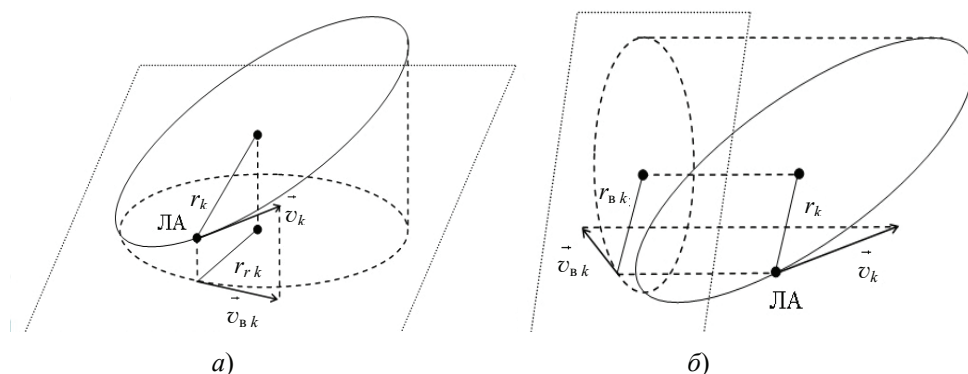


Рис. 2. Модель движения маневренного ЛА:
 а – горизонтальная плоскость; б – вертикальная плоскость

сопровождение воздушной цели по азимуту и углу места. В отдельные моменты времени величина ошибки $\Delta_{\hat{\phi}_{\Gamma,В}}$ значительно возрастает, что приводит к нарушению непрерывности связи. Это является следствием использования моделей, односторонне учитывающих реальную динамику процесса изменения угловых координат воздушного судна.

По этой причине для реализации устойчивого сопровождения маневренной воздушной цели необходимо использовать несколько моделей движения, каждая из которых будет удовлетворять тем или иным условиям процесса сопровождения.

Предлагаемый алгоритм сопровождения на основе положений теории систем со случайной скачкообразной структурой позволяет объединить оценки, полученные на основании разных моделей, путем их весового суммирования. При этом веса вычисляются, исходя из анализа работы того и другого фильтров.

2. Синтез алгоритма прогноза координат для обеспечения функционирования системы направленной связи

Зададим модель движения цели в виде уравнения

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{\Phi}^{(i)} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{u}_{k-1}^{(i)}, \quad i = \overline{1,2}; \quad k = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где $\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} \phi_{\Gamma,В k} \\ \omega_{\Gamma,В k} \\ V_{\Gamma,В k} \end{bmatrix}$ – вектор состояния с ковариационной матрицей \mathbf{P}_k ; \mathbf{x}_0 – вектор начального состояния с гауссовской плотностью вероятности $\mathbf{x}_0 \sim N[\mathbf{x}_0 | \hat{\mathbf{x}}_0, \mathbf{P}_0]$; $\mathbf{\Phi}^{(i)}$ – переходная матрица состояний; $\mathbf{u}_k^{(i)}$ – дискретный белый шум с гауссовской плотностью вероятности $\mathbf{u}_k^{(i)} \sim N[\mathbf{u}_k^{(i)} | 0, \mathbf{Q}^{(i)}]$; i – номер структуры фильтра.

Для гауссовской плотности вероятности n -мерной случайной величины γ используется следующее обозначение

$$N[\gamma | m, \mathbf{A}] = (2\pi)^{-n/2} |\mathbf{A}|^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\gamma - m)^T \mathbf{A}^{-1}(\gamma - m)\right\}, \quad (2)$$

где m – математическое ожидание; \mathbf{A} – ковариационная матрица случайной величины γ .

Первое состояние структуры фильтра сопровождения цели по угловым координатам основано на модели движения ЛА с постоянной угловой скоростью

$$\begin{cases} \phi_{\Gamma,В k} = \phi_{\Gamma,В k-1} + \omega_{\Gamma,В k-1} T \\ \omega_{\Gamma,В k} = \omega_{\Gamma,В k-1} \\ v_{\Gamma,В k} = v_{\Gamma,В k-1}. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда для первого состояния структуры фильтра сопровождения переходная матрица состояний

$$\mathbf{\Phi}^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

дискретный белый шум $\mathbf{u}_k^{(1)} : \mathbf{u}_k^{(1)} \equiv 0$ (следовательно, $\mathbf{Q}^{(1)} \equiv 0$).

Второе состояние структуры фильтра сопровождения цели по угловым координатам основано на модели, использующей параметры поступательного движения

$$\begin{cases} \phi_{\Gamma, \text{В} k} = \phi_{\Gamma, \text{В} k-1} + v_{\Gamma, \text{В} k-1} \frac{1 - \exp\{-\mu_{\Gamma, \text{В}} T\}}{\mu_{\Gamma, \text{В}}} \\ \omega_{\Gamma, \text{В} k} = \omega_{\Gamma, \text{В} k-1} \\ v_{\Gamma, \text{В} k} = v_{\Gamma, \text{В} k-1} \exp\{-\mu_{\Gamma, \text{В}} T\} \end{cases} \quad (5)$$

Тогда для второго состояния структуры фильтра переходная матрица состояний

$$\Phi^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & (1 - \exp\{-\mu_{\Gamma, \text{В}} T\})/r_{\Gamma, \text{В}}\mu_{\Gamma, \text{В}} \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \exp\{-\mu_{\Gamma, \text{В}} T\} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

ковариационная матрица дискретного белого шума $\mathbf{u}_k^{(2)}$

$$\mathbf{Q}^{(2)} = 2\mu_{\Gamma, \text{В}}\sigma_{v_{\Gamma, \text{В}}}^2 \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где

$$q_{11} = \frac{1}{r_{\Gamma, \text{В}}^2 \mu_{\Gamma, \text{В}}^2} \left[T - 2 \frac{1 - \exp\{-\mu_{\Gamma, \text{В}} T\}}{\mu_{\Gamma, \text{В}}} + \frac{1 - \exp\{-2\mu_{\Gamma, \text{В}} T\}}{2\mu_{\Gamma, \text{В}}} \right]; \quad (8)$$

$$q_{13} = q_{31} = \frac{1}{r_{\Gamma, \text{В}} \mu_{\Gamma, \text{В}}} \left[\frac{1 - \exp\{-\mu_{\Gamma, \text{В}} T\}}{\mu_{\Gamma, \text{В}}} - \frac{1 - \exp\{-2\mu_{\Gamma, \text{В}} T\}}{2\mu_{\Gamma, \text{В}}} \right]; \quad (9)$$

$$q_{33} = \frac{1 - \exp\{-2\mu_{\Gamma, \text{В}} T\}}{2\mu_{\Gamma, \text{В}}}; \quad (10)$$

$$q_{12} = q_{21} = q_{22} = q_{23} = q_{32} = 0. \quad (11)$$

Уравнение измерения имеет вид

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \xi_k, \quad (12)$$

где \mathbf{z}_k – вектор наблюдений; \mathbf{H} – матрица наблюдений; ξ_k – шум наблюдения с гауссовской плотностью вероятности $\xi_k \sim N[\xi_k | 0, \mathbf{R}]$.

Первичные измерители выдают данные только об угловых координатах цели

$$\mathbf{z}_k \equiv z_k = \phi_{\Gamma, \text{В} k}^H; \quad (13)$$

$$\mathbf{H} = [1 \quad 0 \quad 0]. \quad (14)$$

Шум ξ_k описывается выражением (2).

Уравнения (1) – (14) дают возможность синтезировать алгоритм сопровождения маневренной воздушной цели по угловым координатам на основе положений теории систем со случайной скачкообразной структурой. Случайные последовательности ξ_k , $\mathbf{u}_k^{(1)}$ и $\mathbf{u}_k^{(2)}$ не коррелированы во времени и между собой, а также с вектором \mathbf{x}_0 .

Используя известный подход [2, 3], получим:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \sum_{j=1}^2 W_k^{(j)} \hat{\mathbf{x}}_k^{(j)}, \quad j = \overline{1, 2}; \quad (15)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_k = \sum_{j=1}^2 W_k^{(j)} \left\{ \hat{\mathbf{P}}_k^{(j)} + \left[\hat{\mathbf{x}}_k^{(j)} - \hat{\mathbf{x}}_k \right] \left[\hat{\mathbf{x}}_k^{(j)} - \hat{\mathbf{x}}_k \right]^T \right\}, \quad (16)$$

где

$$W_k^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^2 \rho(j|i) (2\pi V_k^{(ij)})^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \mathbf{v}_k^{(ij)2} V_k^{(ij)-1}\right\} W_{k-1}^{(i)}}{\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 \rho(j|i) (2\pi V_k^{(ij)})^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \mathbf{v}_k^{(ij)2} V_k^{(ij)-1}\right\} W_{k-1}^{(i)}}, \quad i, j = \overline{1, 2}; \quad (17)$$

$$W_k^{(i)} = 1 - W_k^{(j)}; \quad (18)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^2 \rho(j|i) (2\pi V_k^{(ij)})^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \mathbf{v}_k^{(ij)2} V_k^{(ij)-1}\right\} W_{k-1}^{(i)} \hat{\mathbf{x}}_k^{(ij)}}{\sum_{i=1}^2 \rho(j|i) (2\pi V_k^{(ij)})^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \mathbf{v}_k^{(ij)2} V_k^{(ij)-1}\right\} W_{k-1}^{(i)}}; \quad (19)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_k^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^2 \rho(j|i) (2\pi V_k^{(ij)})^{-1/2}}{\sum_{i=1}^2 \rho(j|i) (2\pi V_k^{(ij)})^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \mathbf{v}_k^{(ij)2} V_k^{(ij)-1}\right\} W_{k-1}^{(i)}} \times \exp\left\{-\frac{1}{2} \mathbf{v}_k^{(ij)2} V_k^{(ij)-1}\right\} W_{k-1}^{(i)} \left\{ \hat{\mathbf{P}}_k^{(ij)} + \left[\hat{\mathbf{x}}_k^{(ij)} - \hat{\mathbf{x}}_k \right] \left[\hat{\mathbf{x}}_k^{(ij)} - \hat{\mathbf{x}}_k \right]^T \right\} \times \frac{1}{\sum_{i=1}^2 \rho(j|i) (2\pi V_k^{(ij)})^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \mathbf{v}_k^{(ij)2} V_k^{(ij)-1}\right\} W_{k-1}^{(i)}}; \quad (20)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k^{(ij)} = \tilde{\mathbf{x}}_k^{(ij)} + \mathbf{K}_k^{(ij)} \mathbf{v}_k^{(ij)}; \quad (21)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_k^{(ij)} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k^{(ij)} \mathbf{H}) \tilde{\mathbf{P}}_k^{(ij)}; \quad (22)$$

$$\tilde{\mathbf{x}}_k^{(ij)} \equiv \tilde{\mathbf{x}}_k^{(i)} = \Phi^{(i)} \tilde{\mathbf{x}}_{k-1}^{(i)}; \quad (23)$$

$$\tilde{\mathbf{P}}_k^{(ij)} \equiv \tilde{\mathbf{P}}_k^{(i)} = \Phi^{(i)} \hat{\mathbf{P}}_{k-1}^{(i)} \Phi^{(i)T} + \mathbf{Q}^{(i)} ; \quad (24)$$

$$\mathbf{K}_k^{(ij)} = \tilde{\mathbf{P}}_k^{(ij)} \mathbf{H}^T V_k^{(ij)-1} ; \quad (25)$$

$$\mathbf{v}_k^{(ij)} = \phi_{\Gamma, \text{В}k}^{\text{И}} - \mathbf{H} \tilde{\mathbf{x}}_k^{(ij)} ; \quad (26)$$

$$V_k^{(ij)} = \mathbf{H} \tilde{\mathbf{P}}_k^{(ij)} \mathbf{H}^T + \mathbf{R} . \quad (27)$$

В уравнениях (15)–(27): $\hat{\mathbf{x}}_k$ – безусловная оценка вектора состояния на выходе алгоритма; $\hat{\mathbf{x}}_k^{(j)}$ – частные оценки вектора состояния; $W_k^{(j)}$ – веса частных оценок вектора состояния (апостериорные вероятности номеров структур); $\mathbf{v}_k^{(ij)}$ – невязка; $V_k^{(ij)}$ – дисперсия одношагового предсказания наблюдения; $\hat{\mathbf{P}}_k^{(j)}$ и $\tilde{\mathbf{P}}_k^{(ij)}$ – ковариационные матрицы, соответственно, апостериорных частных оценок $\hat{\mathbf{x}}_k^{(j)}$ и априорных частных оценок (прогнозов) вектора состояния $\tilde{\mathbf{x}}_k^{(ij)}$; $\mathbf{K}_k^{(ij)}$ – матрица коэффициентов усиления; $\rho(j|i)$ – условные переходные вероятности состояний структуры фильтра; \mathbf{I} – единичная матрица.

Начальные условия для алгоритма (15)–(27) определяются следующим образом:

$$\hat{\mathbf{x}}_0^{(j)} = \mathbf{x}_0^{(j)} + \mathbf{K}_0^{(j)} \mathbf{v}_0^{(j)} ; \quad (28)$$

$$\hat{\mathbf{P}}_0^{(j)} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_0^{(j)} \mathbf{H}) \mathbf{P}_0^{(j)} ; \quad (29)$$

$$\mathbf{v}_0^{(j)} = \phi_{\Gamma, \text{В}и_0} - \mathbf{H} \mathbf{x}_0^{(j)} ; \quad (30)$$

$$V_0^{(j)} = \mathbf{H} \mathbf{P}_0^{(j)} \mathbf{H}^T + \mathbf{R} ; \quad (31)$$

$$\mathbf{K}_0^{(j)} = \mathbf{P}_0^{(j)} \mathbf{H}^T V_0^{(j)-1} . \quad (32)$$

Для начального момента времени зададим:

$$\mathbf{x}_0^{(1)} = \mathbf{x}_0^{(2)} = \mathbf{x}_0 = \begin{bmatrix} \phi_{\Gamma, \text{В}0} & \omega_{\Gamma, \text{В}0} & v_{\Gamma, \text{В}0} \end{bmatrix}^T ; \quad (33)$$

$$\mathbf{P}_0^{(1)} = \mathbf{P}_0^{(2)} = \mathbf{P}_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{\Gamma, \text{В}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\omega_{\Gamma, \text{В}}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{v_{\Gamma, \text{В}}}^2 \end{bmatrix} ; \quad (34)$$

$$W_0^{(1)} = W_0^{(2)} = 0,5 , \quad (35)$$

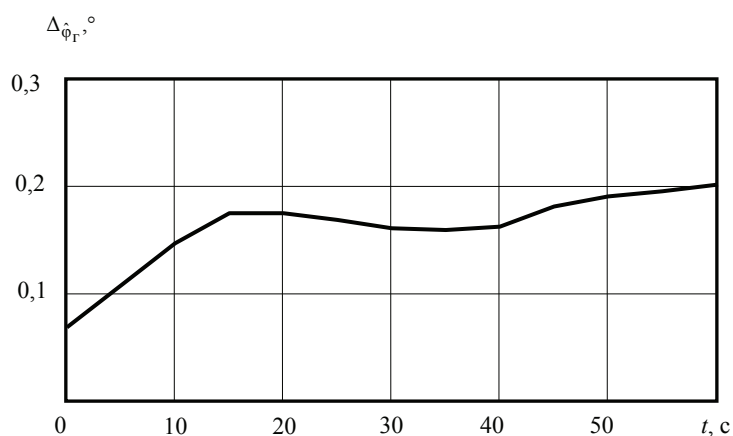
где $\sigma_{\omega_{\Gamma, \text{В}}}$ – СКО скорости изменения угловых координат в горизонтальной или вертикальной плоскостях.

Исследование характеристик точности разработанного алгоритма проводилось на примере нескольких типичных ситуаций.

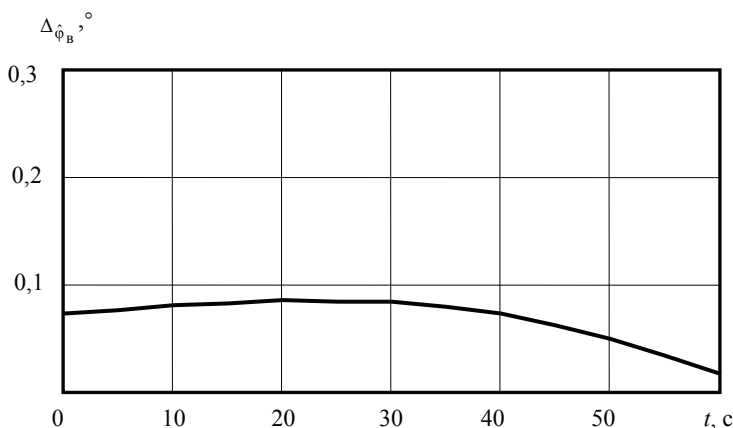
Начальные условия, определяемые при первом сеансе связи: $\hat{\phi}_{Г0} = 174,8^\circ$; $\hat{\phi}_{В0} = -1,03^\circ$; $\hat{\omega}_{Г0} = 0,34^\circ$; $\hat{\omega}_{В0} = 0,52^\circ$; $\hat{v}_{Г0} = v_{Г\text{ ср}} = 174 \text{ м/с}$; $\hat{v}_{В0} = v_{В\text{ ср}} = 13 \text{ м/с}$; $r_{Г} = r_{Г\text{ ср}} = 250 \text{ м}$; $r_{В} = r_{В\text{ ср}} = 91 \text{ м}$; $\Delta_{Г,В} = 0,3^\circ$; $\sigma_{\omega_{Г,В}} = 0,05^\circ/\text{с}$; $\sigma_{v_{Г}} = 0,4 \text{ м/с}$; $\sigma_{v_{В}} = 4 \text{ м/с}$; $\mu_{Г} = 0,1108 \text{ с}^{-1}$; $\mu_{В} = 0,0227 \text{ с}^{-1}$.

Графики изменения во времени ошибки оценки азимута и угла места ЛА на выходе предлагаемого алгоритма, усредненные на основе 30 наблюдений азимута и угла места цели $\Delta\hat{\phi}_{Г}$ и $\Delta\hat{\phi}_{В}$, приведены на рис. 3.

Из представленных на рис. 3 зависимостей видно, что сопровождение воздушной цели по угловым координатам разработанным алгоритмом сопровождения осуществляется с точностью, достаточной для реализации непрерывности связи даже с интенсивно маневрирующим ЛА ($\Delta\hat{\phi}_{Г,В} < \Delta_{Г,В}$).



а)



б)

Рис. 3. Изменение во времени ошибки оценки (усреднение по 30 наблюдениям):
а – азимута ЛА; б – угла места ЛА

Функционально устройство состоит из схем вычисления: априорных частных оценок (прогнозов) $\tilde{\mathbf{x}}_k^{(ij)}$; ковариационных матриц априорных частных оценок (прогнозов) $\tilde{\mathbf{P}}_k^{(ij)}$; матрицы коэффициентов усиления $\mathbf{K}_k^{(ij)}$; невязки $v_k^{(ij)}$; дисперсии одношагового предсказания наблюдения $V_k^{(ij)}$; апостериорных частных оценок $\tilde{\mathbf{x}}_k^{(i)}$; ковариационных матриц апостериорных частных оценок $\hat{\mathbf{P}}_k^{(ij)}$; частных оценок $\hat{\mathbf{x}}_k^{(j)}$; ковариационных матриц частных оценок $\hat{\mathbf{P}}_k^{(j)}$; весов частных оценок вектора состояния $W_k^{(j)}$; безусловных оценок $\hat{\mathbf{x}}_k$; ковариационной матрицы безусловных оценок $\hat{\mathbf{P}}_k$.

На вход устройства подаются сигналы, соответствующие матрице наблюдений \mathbf{H} , переходным матрицам состояний $\Phi^{(j)}$, ковариационным матрицам дискретных шумов $\mathbf{Q}^{(j)}$, дисперсии шума наблюдения дальности R , единичной матрице \mathbf{I} , условным переходным вероятностям состояний структуры фильтра $\rho(j|i)$ и поступающим первичным измерениям азимута и угла места ЛА.

С выхода устройства сигнал, соответствующий безусловной оценке вектора состояния $\hat{\mathbf{x}}_k$ и экстраполированного значения координат $\tilde{\mathbf{x}}_k$, подается на устройство преобразования координат.

Заключение

Разработанный алгоритм расширяет возможности системы направленной связи, позволяя снизить энергетический потенциал на передающей стороне без снижения качества связи, увеличить скрытность и электромагнитную совместимость аппаратуры. Характеристики рассматриваемой системы связи могут быть дополнительно улучшены за счет использования передаваемой по этой линии координатной информации [4]. В настоящее время данная информация для этой цели не используется.

Список литературы

1. Шатовкин, Р.Р. Алгоритм сопровождения воздушной цели по угловым координатам на основе модели, использующей параметры поступательного движения / Р.Р. Шатовкин, Р.И. Князев // Вестн. Тамб. высш. воен. авиац. инженер. училища радиоэлектроники (воен. ин-та). – 2007. – № 1. – С. 18–22.
2. Клекис, Э.А. Оптимальная фильтрация в системах со случайной структурой и дискретным временем / Э.А. Клекис // Автоматика и телемеханика. – 1986. – № 11. – С. 61–70.
3. Бухалев, В.А. Распознавание, оценивание и управление в системах со случайной скачкообразной структурой / В.А. Бухалев. – М.: Наука; Физматлит, 1996. – 288 с.
4. Данилов, С.Н. Оценка координат маневрирующих летательных аппаратов на основе данных об их ориентации / С.Н. Данилов, Ю.Н. Панасюк, Д.М. Тарасов // Междунар. форум по проблемам науки, техники, образования «Канун III тысячелетия – время итогов», 6–10 декабря : тр. Междунар. форума по проблемам науки, техники, образования / Междунар. акад. наук о Земле. – М., 1999. – С. 164–165.

Algorithm of Forecasting Air Objects Coordinates for Maintenance Directed Communication System Band on Systems with Random Change of Structure

S.N. Danilov¹, A.P. Pudovkin¹, R.R. Shatovkin²

Department "Radio-Electronic Household Appliances", TSTU (1); resbn@jesbytst.ru;
Department 31, High Military Aviation Engineering College
of Radioelectronics (Military Institute) (2)

Key words and phrases: angular coordinates; communication system; estimation; flying machine; movement model; orientation diagramme; uncertainty area.

Abstract: On the basis of mathematical apparatus for the systems with random spasmodic change in the structure the algorithm for forecasting flying objects coordinates to maintain the functioning of the directed communication system in the ultrahigh frequencies is synthesized and its accuracy characteristics are estimated.

Algorithmus der Prognose der Koordinaten der Luftobjekte für die Versorgung des Funktionierens des Systems der gerichteten Verbindung aufgrund der Systeme mit der zufälligen Veränderung der Struktur

Zusammenfassung: Aufgrund des mathematischen Apparates der Systeme mit der zufälligen sprunghaften Veränderung der Struktur ist der Algorithmus der Prognose der Koordinaten der Luftobjekte für die Versorgung des Funktionierens des Systems der gerichteten Verbindung im Umfang der superhohen Frequenzen synthetisiert und es sind die Charakteristiken seiner Genauigkeit bewertet.

L'algorithme du pronostic des coordonnées des objets aériens pour la garantie du fonctionnement du système du lien dirigé à la base des systèmes avec le changement accidentel les structures

Résumé: À la base de l'appareil mathématique des systèmes avec le changement accidentel saccadé de la structure est synthésé l'algorithme du pronostic des coordonnées des objets aériens pour la garantie du fonctionnement du système du lien dirigé dans la gamme des hyperfréquences et on estime les caractéristiques de son exactitude.

Авторы: *Данилов Станислав Николаевич* – доктор технических наук, доцент кафедры «Радиоэлектронные средства бытового назначения»; *Пудовкин Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиоэлектронные средства бытового назначения», ГОУ ВПО «ТГТУ»; *Шатовкин Роман Родионович* – кандидат технических наук, кафедра 31, Тамбовское высшее военное авиационное инженерное училище радиоэлектроники (Военный институт).

Рецензент: *Карпов Иван Георгиевич* – доктор технических наук, профессор кафедры 25, Тамбовское высшее военное авиационное инженерное училище радиоэлектроники (Военный институт).