На правах рукописи

ЧЫОНГ ДАНГ КХОА

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА НАВЕДЕНИЯ НА МАНЕВРИРУЮЩИЙ ОБЪЕКТ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ЕГО ДВИЖЕНИЯ

Специальность 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2004

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: доктор технических наук, академик РЕАН, профессор ПУПКОВ Константин Александрович.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор Афанасьев В.Н.

- кандидат технических наук, доцент Дегтярев О.В.

Ведущая организация: Институт проблем управления РЕАН, им В.А.Трапезнинова.

Защита состоится << 22 >> июня 2004. в 14^{30} часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.02 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, ауд. 613М

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан << 18 >> мая 2004

Ученый секретарь
диссертационного совета Иванов В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современный этап развития теории оптимального управления характеризуется совершенствованием и широким внедрением аналитических и численных методов исследования и расчета систем управления. Дальнейшее развитие получили теория аналитического конструирования регуляторов, динамическое программирование, стохастический принцип максимума. Все более широкие применение находят методы оптимизации, основанные на использовании возможностей цифровых вычисленных машин.

Одной сложных систем управления летательными аппаратами является система самонаведения, исследование процесса управления в которой не может быть проведено в отрыве от свойств ЛА в целом и характеристик окружающей среды. Теория оптимального управления систем самонаведения развивается многие годы, построены оптимальные алгоритмы обработки информации и формирования закона управления. При этом используется ряд известных методов самонаведения (метод погони, метод параллельного сближения, метод пропорционального наведения и др.). Однако, применение всех этих методов самонаведения часто основано на предположении, что объект двигается прямолинейно и возмущение действует на систему измерений, как белый шум. Действительно, динамический объект имеет высокие маневренные свойства и способен создавать различные виды помех с целью ухода от преследования. Эти обстоятельства приводят к необходимости найти подход для исследования влияния этих воздействий на эффективность действия системы самонаведения, и на базе этого разработать новый алгоритм управления с целью устранения ограничений и повышения эффективности ЛА при преследовании маневрирующего объекта.

ВГТУ

Цель работы. Настоящая диссертации посвящена разработке метода наведения на маневрирующий объект в условиях воздействий случайных сигналов и помех, обеспечивающего плотность вероятности промаха близкую к нормальной.

Методы исследования. В работе использовались методы теории оптимального управления, метод скалярной адаптивной фильтрации, методы теории вероятностей и математической статистики, метод статистических испытаний Монте – Карло.

Научная новизна. На защиту выносятся:

1. Результаты анализа статистических характеристик возмущений и помех, действующих на систему управления, анализ моделей движения объекта и влияние этих возмущений на точность управления.

2. Алгоритм адаптивного оценивания и скалярного адаптивного оценивания составляющих вектора состояния в задаче наведения в условии отсутствия априорной информации о статистических характеристиках шумов измерения и флюктуаций сигнала.

3. Метод наведения ЛА на маневрирующий объект в условиях воздействия измерительных шумов и флюктуаций отраженного от объекта сигнала при прогнозировании движения объекта, обеспечивающий необходимую точность.

Внедрение результатов. Материалы диссертации использованы в научных исследованиях, проведенных на кафедре "Системы автоматического управления" МГТУ им. Баумана, а также в учебном процессе по специальности "Системы управления летательными аппаратами".

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на пятом международном симпозиуме "Интеллектуальные системы (Интелс'2002)" (Калуга, 2002), на научной конференции "Информатика и системы управления в XXI веке" (Москва, 2003), на XXVIII академических чтениях по космонавтике (Москва, 2004).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано два статьи.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы из 85 наименований. Основная часть работы составляет 133 страниц машинописного текста, и содержит 1 таблицу и 34 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрена общая задача стохастического управления, применительно к управлению самонаводящимися летательными аппаратами, сформулированы цель работы, актуальность, ее научная новизна, внедрение результатов, апробация и структура диссертации.

В первой главе проведен анализ типов систем управления ЛА: системы автономного управления, системы телеуправления, системы управления с самонаведением и комбинированные системы наведения. Рассмотрены структуры, принципы действия, преимущества, недостатки и область применения каждого вида систем управления. Показано, что система управления с самонаведением имеет высокую точность, небольшие габариты и может быть широко использована в задачах преследовании маневрирующих объектов.

Во второй главе рассмотрена кинематическая система самонаведения и приведены уравнения кинематического звена (1)

$$\begin{cases} \dot{r} = V_ц \cos(\theta_ц - q) - V_{ЛА} \cos(\theta - q), \\ r\dot{q} = V_ц \sin(\theta_ц - q) - V_{ЛА} \sin(\theta - q). \end{cases} \quad (1)$$

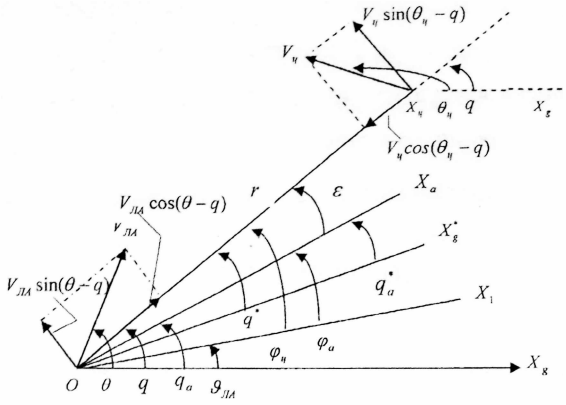


Рис. 1. Кинематическая схема самонаведения

На рис. 1, OX_g – ось инерциальной системы координат; OX_1 – положение продольной оси ЛА; OX_a – отсчетная ось антенны ГСН; OX_g^* – отсчетная ось инерциальной системы координат; $OX_ц$ – линия визирования ЛА – объекта; $V_{ЛА}, V_ц, \theta, \theta_ц$ – соответственно скорости и углы наклона траектории ЛА и объекта; $\vartheta_{ЛА}$ – угол тангажа; q, q_a – угловое положение линии визирования и оси OX_a относительно OX_g; ε – угловое рассогласование между направлениями OX_a и $OX_ц$; r – дальность ЛА – объект.

Мерой точности действия системы управления ЛА с самонаведением является промах $h(t)$. Величина $h(t)$, характеризует точность попадания в объект (2)

$$h(t) = \frac{\dot{q}(t) r^2(t)}{\sqrt{\dot{r}^2(t) + (\dot{q} r)^2}} \approx \frac{\dot{q}(t) r^2(t)}{\dot{r}(t)}. \qquad (2)$$

Таким образом, промах ЛА при самонаведении пропорционален изменению угловой скорости линии визирования.

Рассмотрен ряд случайных возмущений. На основе исследования статистических характеристик этих случайных возмущений они разделены на три главных воздействия с различными статистическими характеристиками:

1. Случайное возмущение ξ_1, обусловлено шумом в приемнике ЛА и случайными ошибками в измерении и обработке сигнала контура самонаведения. Это случайное возмущение может быть рассмотрено как гауссов белый шум с вероятностными характеристиками

$$\begin{cases} m_{\xi_1} = M[\xi_1(t)] = 0, \\ R_{\xi_1}(\tau) = \dfrac{1}{T}\int_0^T [\xi_1(t) - m_{\xi_1}][\xi_1(t+\tau) - m_{\xi_1}] = D_{\xi_1}\delta(\tau) = \sigma_{\xi_1}^2. \end{cases} \quad (3)$$

2. Компонента, обусловлена "беганием"– флюктуацией амплитуды и фазы сигнала, отраженного от объекта. Корреляционная функция этого возмущения имеет экспоненциальный вид

$$\begin{cases} m_{\xi_2} = c_{\xi_2}, \\ R_{\xi_2}(\tau) = D_{\xi_2}\exp(-\alpha|\tau|) = \sigma_{\xi_2}^2\exp(-\alpha|\tau|). \end{cases} \quad (4)$$

где $D_{\xi_1}, D_{\xi_2}, \alpha, c_{\xi_2}$ – заданные постоянные, а функция плотности вероятности – нормальная.

3. Компонента, вызванная маневром объекта, с нормальной перегрузкой, изменяющейся по синусоидальному закону со случайной фазой. Связь этой компоненты с нормальной перегрузкой объекта имеет вид

$$\dot{q}_{a_\eta}(t) = \frac{a_\eta(t)}{r_0 - Vt}t, \quad (5)$$

где $a_\eta(t) = A_\eta\sin(\Omega_\eta t + \varphi) = A_\eta\sin\phi$.

Плотность вероятности распределения суммы возмущений и компоненты синусоидального колебания, обусловленной маневром объекта, имеет вид

$$w(\rho) = \frac{1}{\pi\sqrt{2\pi}}\int_0^\pi \exp\left[-\frac{1}{2}(\rho - a\sin\phi)^2\right]d\phi \quad (6)$$

где $\rho = \dot{q}/\sigma -$ нормированная случайная переменная; $a = A_{\text{ц}}/\sigma -$ величина, характеризующая отношение сигнал / шум; $\sigma = \sqrt{\sigma_{\xi_1} + \sigma_{\xi_2}}$.

Плотность распределения суммы сигналов отлична от нормальной и является бимодальной (рис. 2). Это распределение в значительной мере влияет на эффективность управления.

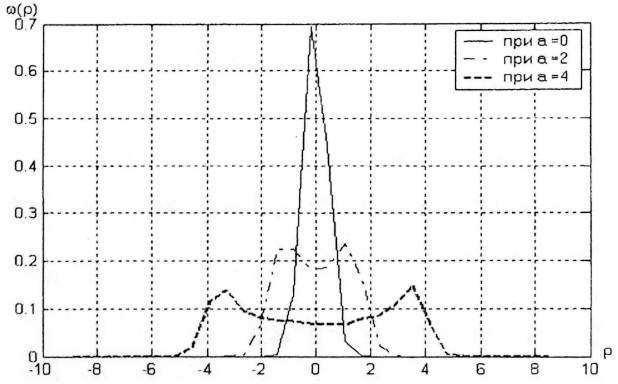


Рис. 2. Плотность вероятности суммы случайной ошибки измерения, флюктуации отраженного сигнала и синусоидального сигнала с равномерно распределенной начальной фазой

В третьей главе рассмотрены формирование и решение задачи оптимального управления с помощью метода вариационного исчисления и метода динамического программирования. Исследован алгоритм решения задачи стохастического управления методом динамического программирования в дискретном времени для стационарной линейной системы с квадратичным видом функционала. Проведено моделирование задачи стохастического оптимального управления ЛА при преследовании объекта в случаях, соответствующих различным воздействиям помех и маневра объекта.

На рис. 3, $V_ц$ – скорость объекта; $V_{ЛА}$ – скорость ЛА; q – угол наклона линии визирования; r – дальность; $V_{цп}$ и $V_{ЛАп}$ – нормальная скорость объекта и ЛА соответственно.

Пусть движение ЛА относительно номинальной траектории описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2;\ \dot{x}_2 = x_3 - a_ц;\ \dot{x}_3 = (1/T_{ЛА})x_3 + (1/T_{ЛА})u, \qquad (7)$$

где x_1 – смещение ЛА от траектории объекта, перпендикулярное к номинальной линии визирования; $x_2 = V_{ЛАп} - V_{цп}$; $x_3 = a_{ЛА}$ – боковое ускорение ЛА; $T_{ЛА}$ – постоянная времени, обусловлена запаздыванием реакции ЛА; $a_ц$ – боковое ускорение объекта.

Угловая скорость линии визирования ЛА – объект

$$\dot{q}(t) = \frac{x_1}{V(t_f - t)^2}.$$



Рис. 3. Кинематическая схема задачи оптимального преследования.

Измерения подвержены случайным помехам и уравнение наблюдения имеет вид

$$z = \frac{x_1}{V(t_f - t)^2} + v,$$

где $v=\xi_1+\xi_2-$ шум с нулевым математическим ожиданием и заданной интенсивностью $R=D_{\xi_1}+D_{\xi_2}e^{-\alpha|\tau|}$ и $V-$ скорость сближения ЛА и объекта.

Состояние системы определяется в виде дифференциального уравнения

$$\dot{x}=Ax+Bu+w, \tag{8}$$

и уравнение измерений в векторной форме можно записать следующим образом

$$z=Hx+v \tag{9}$$

где $x=\begin{bmatrix}x_1\\x_2\\x_3\end{bmatrix}$; $A=\begin{bmatrix}0&1&0\\0&0&1\\0&0&\frac{1}{T_{ЛА}}\end{bmatrix}$; $B=[0\ \ 0\ \ 1]^T$; $H=\begin{bmatrix}\frac{1}{V(t_f-t)^2}&0&0\end{bmatrix}$;

$w=\begin{bmatrix}0&-A_y\sin(\Omega_y t+\varphi)&0\end{bmatrix}^T-$ вектор входных возмущений, обусловлен маневром объекта с синусоидальной нормальной перегрузкой. Матрица интенсивности такого возмущения имеет вид

$$Q=\begin{bmatrix}0&0&0\\0&\frac{1}{2}A_y^2&0\\0&0&0\end{bmatrix}.$$

Состояние системы в начальный момент времени управления t_0 является случайным вектором с характеристиками

$$M[x_1(t_0)]=M[x_2(t_0)]=M[x_3(t_0)]=0;M[x_1^2(t_0)]=0;M[x_2^2(t_0)]=\sigma_V^2;M[x_3^2(t_0)]=0.$$

Критерий оптимальности определяется минимумом математического ожидания значения промаха в момент окончания процесса управления при сближении с объектом $h=x_1(t_f)$ и интегрирования квадрата воздействия управления

$$J=M\left[x^T(t_f)Fx(t_f)+\int_{t_0}^{t_f}\beta u^2dt\right], \tag{10}$$

где $F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

Схема системы оптимального преследования представлена на рис. 4.

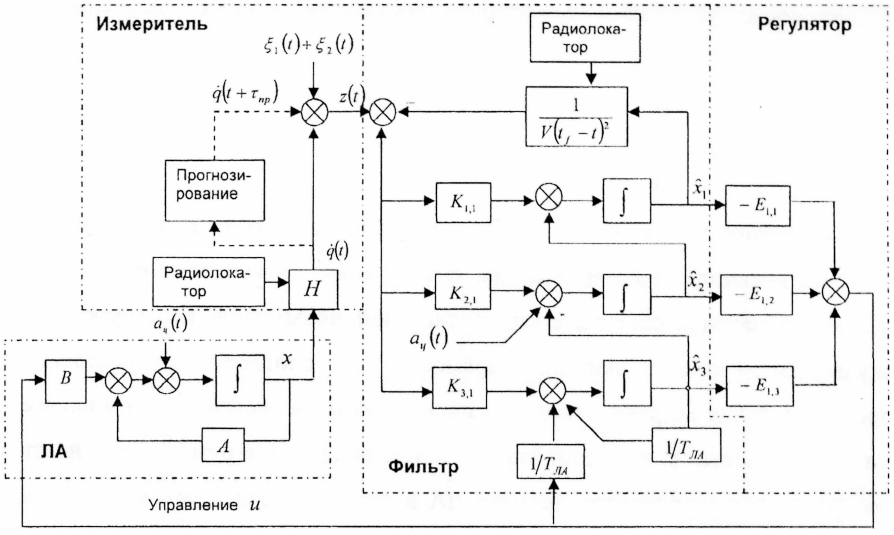


Рис. 4. Схема системы оптимального преследования

Алгоритм определения закона оптимального управления в дискретном времени, обеспечивающий критерий оптимальности представлен в виде (11)

$$\begin{aligned} u_k &= -C_k \hat{x}_k, \\ C_k &= \left(\beta + B_k^T F_{k+1} B_k\right)^{-1} B_k^T F_{k+1} A_k, \\ F_k &= A_k^T F_{k+1} A_k - A_k^T F_{k+1} B_k C_k. \end{aligned} \qquad (11)$$

при условии, что F_n задано.

Оптимальная оценка вектора состояния системы $\hat{x}_k$ получена с помощью фильтра Калмана:

$$\hat{x}_k = A_{k-1}\hat{x}_{k-1} + B_{k-1}u_{k-1} + K_k\left[z_k - H_k\left(A_{k-1}\hat{x}_{k-1} + B_{k-1}u_{k-1}\right)\right];$$
$$P_{k,k-1} = A_{k-1}P_{k-1}A_{k-1}^T + Q_{k-1};$$
$$K_k = P_{k,k-1}H_k^T\left(H_kP_{k,k-1}H_k^T + R_k\right)^{-1};$$
$$P_k = \left(I - K_kH_k\right)P_{k,k-1},$$

с начальными условиями $\hat{x}_0 = M[x(t_0)]$, а дисперсия ошибки оценивания в момент t_0

$$P_0 = P(t_0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_V^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Исследована задача наведения ЛА на подвижной объект в трех случаях, соответствующих действию шума, флюктуации отраженного сигнала от объекта и маневра объекта с синусоидальной нормальной перегрузкой. В случае, когда объект двигается прямолинейно, плотность распределения промаха в точке встречи имеет вид нормального распределения, а в случае маневра объекта с синусоидальной нормальной перегрузкой, плотность распределения вероятности промаха ЛА в точке встречи с объектом имеет вид бимодального распределения

(рис. 5). Вид этого распределения вероятности уменьшает эффективность преследования и поражения объекта. Выявленный недостаток в синтезе системы оптимального преследования обусловливает необходимость прогнозирования траектории объекта и управления по прогнозированной траектории.

Для обеспечения точности сближения и повышения вероятности малых отклонений, рассмотрена задача управления при сближении с объектом в упрежденную точку встречи. Эта задача решена следующим образом: в начале процесса сближения, ЛА управляется в предположении, что объект двигается прямолинейно (ЛА управляется по среднему значению траектории при синусоидальном движении объекта). На этом интервале времени, оценка параметров синусоидального маневра должна осуществляться с помощью

адаптивных фильтров. При приближении к объекту на основе оценки истинного движения объекта прогнозируется его траектория. Затем на основе известной располагаемой перегрузки ЛА, измеренных дальности и скорости сближения и прогнозированного значения промаха определяется момент времени перехода на самонаведения на истинное положение объекта. В связи с этом исследованы также новые более эффективные подходы в оценивании состояния динамической системы при формировании закона управления, а также эффективные методы прогнозирования движения объекта.

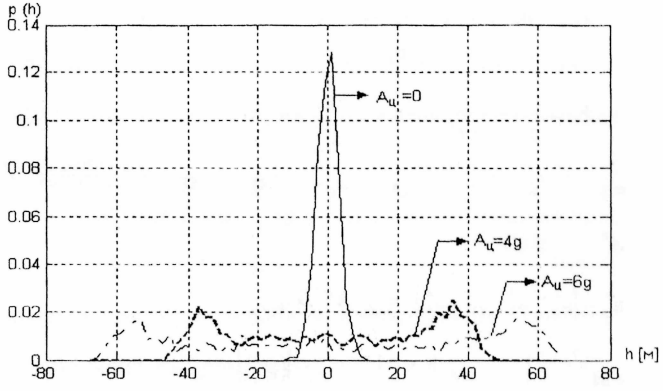


Рис. 5. Распределение вероятности промаха в точке встречи

В четвертой главе показана возможность использования нового подхода в оценивании состояния динамической системы при отсутствии априорной информации о дисперсии входного возмущения Q и измерительного шума R системы. Сформированы алгоритмы адаптивной скалярной фильтрации, позволяющие получать оценку без априорной информации о дисперсии входного и измерительного шума в задаче оценивания состояния системы в скалярном виде. Алгоритм адаптивной скалярной фильтрации используется при оценивании компоненты вектора состояния системы при решении

задачи оптимального управления ЛА при сближении с маневрирующим объектом. По результатам обработки, использование алгоритма адаптивного скалярного оценивания, позволяет уменьшить объем вычислений и обеспечит необходимую точность при решении задачи оптимального управления ЛА на маневрирующий объект.

Пусть система описывается уравнением состояния (8) и уравнения измерения (9)

Алгоритм скалярного оценивания i–й компоненты $(i=1,2,3)$ вектора состояния в момент времени $k+1$ имеет вид

$$\begin{aligned} &\hat{x}^i_{k+1} = a_{ii}\hat{x}^i_k + s^i_k + u^i_k + k^i_k\left(z^{*i}_{k+1} - a_{ii}\hat{x}^i_k - s^i_k - u^i_k\right), \\ &p^i_{k,k-1} = a^2_{ii}\left(1-k^i_{k-1}\right)p^i_{k-1,k-2} + q^i_{k-1}, \\ &k^i_k = \frac{p^i_{k,k-1}}{p^i_{k,k-1} + r^i_{k+1}}. \end{aligned} \qquad (12)$$

где $s^i_k = a_{i1}\hat{x}^1_k + a_{i2}\hat{x}^2_k + ... + a_{in}\hat{x}^n_k$; a_{ij} – компонент i-ой строки, j-ого столбца матрицы A^n;

$$u^i_k = \left[u^1_k \quad u^2_k \quad ... \quad u^n_k\right]^T = \sum_{j=1}^{n} A^{j-1}Bu_{k-j};$$

$$q^i_1 = M\left[\left(w^{*i}_1\right)^2\right]; \; r^i_1 = M\left[\left(v^{*i}_1\right)^2\right]; \; p^i_0 = M\left[\left(x^i_0\right)^2\right]; \; k^i_0 = 0.$$

Адаптивное скалярное оценивание первой компоненты в условиях без априорной информации о дисперсии Q входного возмущения системы

$$\begin{cases} \hat{x}^i_{k+1} = a_{ii}\hat{x}^i_k + s^i_1 + u^i_1 + k^i_k\left(z^{*i}_k - a_{ii}\hat{x}^i_k - s^i_k - u^i_1\right), \\ p^i_{k,k-1} = M\left[\left(\hat{g}^i_k\right)^2\right] - r^i_k, \\ k^i_k = \dfrac{p^i_{k,k-1}}{p^i_{k,k-1} + r^i_k}. \end{cases} \qquad (13)$$

где коэффициент усиления фильтра k^i_k

$$\begin{cases} k_k^i = 1 - \dfrac{r_k^i}{M\left[\left(\hat{\vartheta}_k^i\right)^2\right]}; M\left[\left(\hat{\vartheta}_k^i\right)^2\right] > r_k^i, \\ k_k^i = 0; M\left[\left(\hat{\vartheta}_k^i\right)^2\right] \le r_k^i. \end{cases}$$

Алгоритм адаптивного скалярного оценивания первой компоненты в условии без априорной информации о дисперсии входного возмущения Q и измерительного шума R:

$$\begin{cases} \hat{x}_{k+1}^i = a_{ii}\hat{x}_k^i + s_k^i + u_1^i + k_k^i\left(z_2^{*i} - a_{ii}\hat{x}_k^i - s_1^i - u_1^i\right), \\ p_{k,k-1}^i = a_{ii}^2 p_{k-1}^i + \left(k_{k-1}^i\right)^2\left(\vartheta_k^i\right)^2, \\ k_k^i = \dfrac{p_{k,k-1}^i}{p_{k,k-1}^i + \hat{r}_k^i}, \\ p_k^i = \left(1 - k_k^i\right)p_{k,k-1}^i. \end{cases} \qquad (14)$$

где дисперсия измерительного шума $\hat{r}_k^i$ определяется с помощью адаптивного алгоритма оценивания

$$\begin{cases} \hat{r}_k^i = \left(\vartheta_k^i\right)^2 - p_{k,k-1}^i; \left(\vartheta_k^i\right)^2 > p_{k,k-1}^i, \\ \hat{r}_k^i = 0; \left(\vartheta_k^i\right)^2 \le p_{k,k-1}^i. \end{cases}$$

ϑ_k^i – обновляемая последовательность в адаптивном скалярном алгоритме фильтрации получена по формуле

$$\vartheta_k^i = z_k^{*i} - a_{ii}\hat{x}_{k-1}^i - s_{k-1}^i - u_{k-1}^i.$$

Использование в алгоритме жесткой обратной связи по обновляемой последовательности ϑ_k^i позволяет осуществлять оценивание высокодинамичных объектов. При этом точность оценивания (в случае, когда дисперсия измерительного шума по величине соизмерима с оцениваемым номиналом) несколько снижается. В то же время, при неточном значении информации о модели исследуемого процесса, жесткая обратная связь по ϑ позволяет получать нерасходящуюся оценку первой компоненты вектора состояния.

В пятой главе разработан и исследован новый алгоритм управления ЛА

при условии маневра объекта:

– в началом процесса наведения, управление ЛА осуществляется по гипотезе, что объект двигается прямолинейно. Оцениваются параметры движения с помощью алгоритма адаптивного скалярного оценивания.

– в момент времени $t_{пр}$, определяется отклонение истинной траектории и траектории по гипотезе объекта и прогнозируется траектория следующего движения объекта на интервале времени $\tau_{пр}$ до точки встречи. Момент времени $t_{пр}$ определяется на основе располагаемой перегрузки ЛА.

Оптимальный закон наведения с обратной связью в интервале времени $\tau_{пр}$ можно переписать в виде

$$u(t) = -\frac{\tau^2}{2\beta T_{ЛА}}\hat{x}_1(t) + \frac{1}{\tau^2}\left(\tau + \frac{\tau^2}{2T_{ЛА}} - 3T_{ЛА}\right)\hat{x}_2(t) + \frac{1}{\tau}\left(2T_{ЛА} - \tau\right)\hat{x}_3(t) \qquad (15)$$

где $\tau = t - t_f$.

Оптимальные оценки составляющей вектора состояния системы $\hat{x}_1, \hat{x}_2$ и $\hat{x}_3$ получены по уравнению (14).

Процесс наведения ЛА на объект представлен на рис. 6.

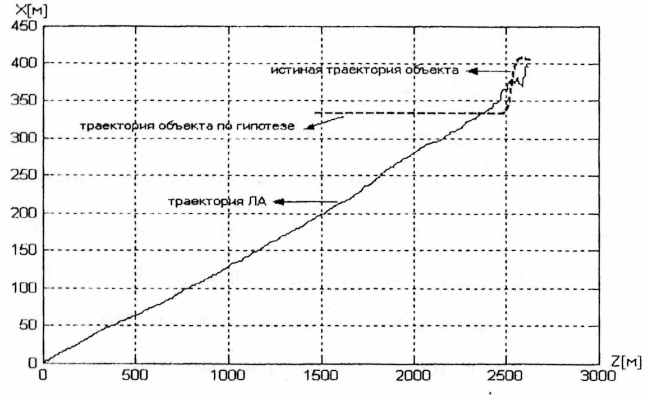


Рис. 6. Процесс наведения ЛА по прогнозируемой траектории движения объекта

Рассмотрены виды модели прогнозирования и требований к точности для этих моделей, выбрана модель Тайлора – Вейджа с двумя источниками шумов воздействия на реальный процесс. Определены адаптивные параметры выбранной модели и оценены прогнозируемые ошибки в различных интервалах времени.

Прогноза угловой скорости $\dot{q}(t)$ линии визирования ЛА – объект по модели Тейлора – Вейджа аналитически записывается как:

$$\begin{aligned} &\dot{q}(t) = a_1(t) + \xi_1(t), \\ &a_1(t) = a_1(t-1) + a_2(t), \\ &a_2(t) = a_2(t-1) + \xi_2(t). \end{aligned} \qquad (16)$$

где $a_1(t)$– значение $\dot{q}(t)$ в момент t;

$a_2(t)$– прирост $\dot{q}(t)$уровня от момента $t-1$ к моменту t;

$\xi_1(t), \xi_2(t)$– случайные процессы с нулевым математическим ожиданием, постоянными дисперсиями $\sigma^2_{\xi_1}, \sigma^2_{\xi_2}$ и независимости друг другим.

Пусть в момент времени t необходимо сделать прогноз $\hat{\dot{q}}_{\tau_{пр}}(t)$ значения $\dot{q}(t+\tau_{пр}); \hat{a}_1(t); \hat{a}_2(t)$.

Общие формулы прогнозирования для $\tau_{пр} \geq 1$ шага вычисления

$$\begin{aligned} &\hat{a}_1(t) = \hat{a}_1(t-1) + \hat{a}_2(t-1) + \alpha_1 e_1(t-1), \\ &\hat{a}_2(t) = \hat{a}_2(t-1) + \alpha_1\alpha_2 e_1(t-1), \\ &\hat{\dot{q}}_{\tau_{пр}}(t) = \hat{a}_1(t) + \tau_{пр}\hat{a}_2(t). \end{aligned} \qquad (17)$$

В результате минимизации дисперсии прогноза, адаптивные параметры выбраны следующие

$$\alpha_1 = \frac{2d}{1+d} \;;\; \alpha_2 = d;$$

$$d = \sqrt{\left(-\frac{1}{8}\chi^2 + \frac{1}{2}\chi\sqrt{1+\frac{1}{16}\chi^2}\right)} \;;\; \chi^2 = \sigma^2_{\xi_2}/\sigma^2_{\xi_1};$$

Ошибка прогноза, сделанного в момент t на $\tau_{пр}$ шагов будет

$$e_{\tau_{пр}}(t) = \dot{q}(t+\tau_{пр}) - \hat{\dot{q}}_{\tau_{пр}}(t) =$$

$$\left[a_1(t) + \tau_{пр} a_2(t) + \sum_{i=1}^{\tau_{пр}} (\tau_{пр} - i + 1)\xi_2(t+i) + \xi_1(t+\tau_{пр})\right] - \hat{a}_1(t) - \tau_{пр}\hat{a}_2(t) =$$

$$= [a_1(t) - \hat{a}_1(t)] + \tau_{пр}[a_2(t) - \hat{a}_2(t)] + \xi_1(t+\tau_{пр}) + \sum_{i=1}^{\tau_{пр}} (\tau_{пр} - i + 1)\xi_2(t+i).$$

Получены результаты прогнозирования изменения угловой скорости линии визирования ЛА – объект в интервалах времени $\tau_{пр}$ $0{,}3c$ $0{,}5c$ и $1c$ (рис. 7). Плотность распределения вероятности промаха $p(h)$ в точке встречи при прогнозировании на $0{,}5c$ имеет вид близкий к нормальному распределению с средним значением, близким к нулю и среднеквадратичным отклонением в допустимом пределе (рис. 8).

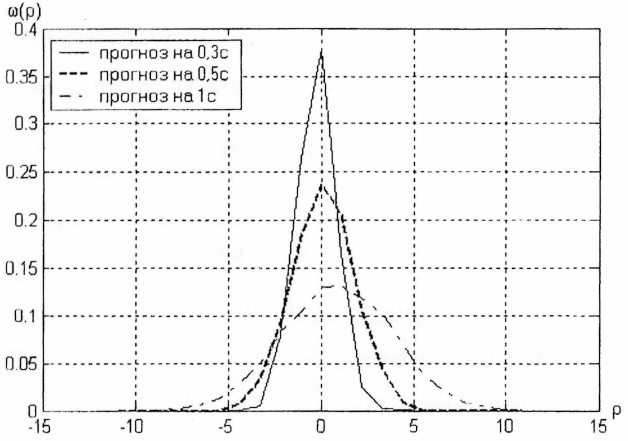


Рис. 7. Плотность вероятностного распределения угловой скорости линии визирования ЛА – объект при различных интервалах времени прогнозирования

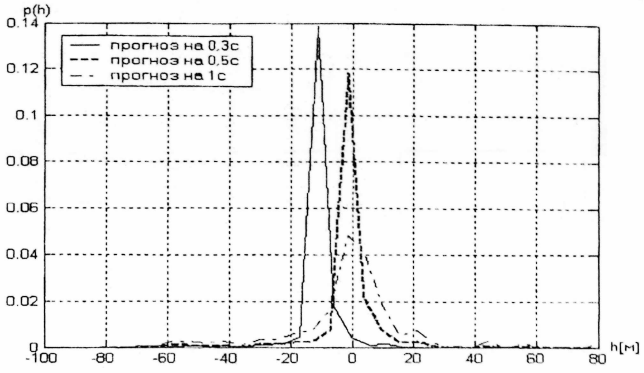


Рис. 8. Плотность распределения вероятности промаха в точке встречи на различных интервалах времени прогнозирования $\tau_{пр}$

Плотность распределения вероятности промаха $p(h)$ при управлении ЛА на объект по прогнозированному значению $\dot{q}(t)$ на различных интервалах времени представляет собой кривую, близкую к нормальному закону распределения. В случае прогнозирования на интервале времени $\tau_{пр} = 0{,}3c$, плотность распределения вероятности промаха смещена от нуля. Это возникает из-за того, что перегрузка ЛА на малом интервале времени прогнозирования недостаточна, что приводит к систематической ошибке. При интервале времени прогнозирования $\tau_{пр} = 1c$, среднеквадратичное отклонение ошибки наведения значительно больше и при $\tau_{пр} = 0{,}5c$, точность наведения является приемлемой. Математическое ожидание промаха при этом $m_h = 2м$ с доверительным интервалом $0{,}27м$, соответствующим доверительной вероятности $0{,}9$. Среднеквадратичное отклонение равно $\sigma_h = 20м$, а доверительный интервал $3{,}26м$ при доверительной вероятности $0{,}9$. Зависимость среднего значения и среднеквадратичного отклонения

МГТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

ошибки наведения в зависимости от времени прогноза представлена на рис. 9.

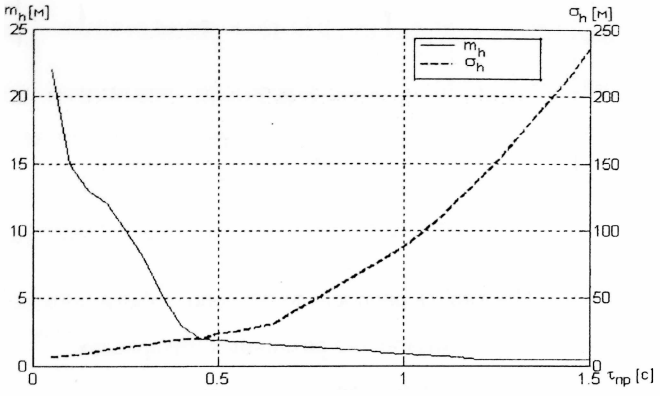


Рис. 9. Изменения среднего значения и среднеквадратичного отклонения ошибки наведения по времени прогнозирования

В случае, когда объект совершает маневр не с синусоидальной нормальной перегрузкой, а с постоянной нормальной перегрузкой $a_u(t) = A_{0u} = const$, плотность распределения промаха получена при использовании алгоритмов управления с прогнозированием (15) и скалярного адаптивного оценивания (13) также имеет вид близкий к нормальному (рис. 10) с статистическими характеристиками $m_h = 1{,}5м$ и $\sigma_h = 12м$. На рис. 11 представлены траектории движения ЛА и объекта в этом случае. Таким образом синтезированный закон управления и предложенный скалярный адаптивный алгоритм являются универсальным подходом управления ЛА при сближении с маневрирующим объектом.

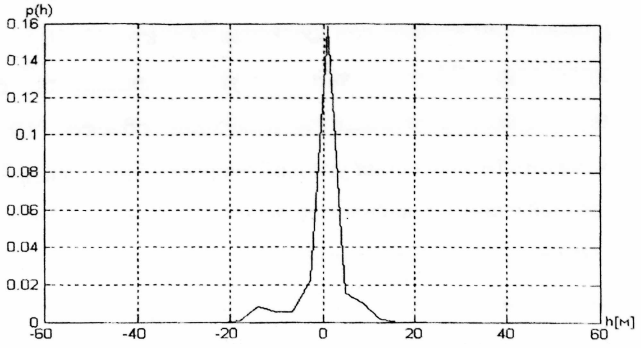


Рис. 10. Плотность распределения промаха, объект совершает маневр с постоянной нормальной перегрузкой

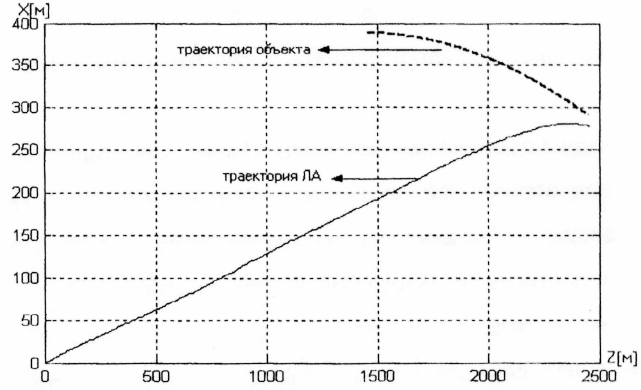


Рис. 11. Траектории движения ЛА и объекта, объект совершает маневр с постоянной нормальной перегрузкой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в работе исследования позволили получить следующие новые научно – технические результаты:

1. Осуществлен анализ возмущающих факторов, обусловливающих ошибку в определении параметров движения объекта. Исследованы ошибка системы управления ЛА, вызванные шумом приемника, флуктуацией отраженного сигнала от объекта и маневром объекта. Показано, что плотность вероятности изменения угловой скорости линии визирования ЛА – объект при воздействии случайных сигналов и помех при синусоидальном маневре объекта является бимодальной.

2. Приведен анализ алгоритмов оптимального управления, адаптивного и адаптивного скалярного оценивания. Показано, что при использовании традиционных методов оптимального управления вероятность промаха при воздействии отраженного сигнал, помех и при синусоидальном маневре объекта также является бимодальной. Это свидетельствует о том, что вероятность больших значений промаха выше, чем промахов в окрестности нуля.

3. Предложен новый метод наведения ЛА на маневрирующий объект с синусоидальной нормальной перегрузкой, основанный на прогнозирования траектории движения объекта: на первом этапе по линейной гипотезе, на конечном – по прогнозу реального положения объекта.

4. На основе анализа моделей прогнозирования выбрана модель Тейлора – Вейджа для случая, когда объект маневрирует с синусоидальной нормальной перегрузкой.

5. Для оценки вектора состояния ЛА разработан оригинальный модифицированный алгоритм скалярного оценивания. Предложенный алгоритм способен функционировать в условиях отсутствия априорной информации о статистических характеристиках входного и измерительного шумов, компактен и прост в реализации. Результаты моделирования показали эффективность модифицированного скалярного адаптивного алгоритма при оценивании высокодинамичных компонент вектора состояния исследуемого объекта.

6. Синтезирован и реализован закон управления с использованием прогноза Тайлора – Вейджа и алгоритма скалярного оценивания вектора состояния. Показано, что функция плотности вероятности промаха ЛА является близкой к нормальной и средние характеристики промаха находятся в допустимых пределах.

7. Исследованы дисперсия и среднее значение промаха в зависимости от величины времени прогноза. Показано, что имеет место оптимальное значение времени прогноза.

8. Исследовано и показано, что синтезированный алгоритм управления обеспечивает высокую точность при маневре объекта с постоянной нормальной перегрузкой.

РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1.Чыонг Данг Кхоа. Задача оптимального управления летательным аппаратом при сближении с маневрирующим объектом // Информатика и системы управления в XXI веке. Труды молодых ученых, аспирантов и студентов. –Москва, 2003. – С.25–37.

2. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Чыонг Данг Кхоа. Оптимальное управление летательным аппаратом при сближении с маневрирующим объектом // Актуальные проблемы развития отечественной космонавтики. Материалы XXVIII академических чтений по космонавтике. –Москва, 2004. –С.373–374.

3. Пупков К.А., Неусыпин К.А., Чыонг Данг Кхоа. Оптимальное управление летательным аппаратом при сближении с маневрируюшим объектом // Мехатроника, Автоматизация, Управление, –2003. –№11. –С.33–40.

4. Смаглина Н.В., Чыонг Кхоа., Казаков К.А. Комплексирование измерительной интеллектуальной системы ГЛОНАСС / GPS // Труды V

международного симпозиума "Интеллектуальные системы (Интелс'2002)"/ Под ред. К.А. Пупкова. –Калуга, 2002. –С.232.

Подписано к печати 12.05.04г.

Объем 1,0 печатный лист.

Тираж 100. Заказ 71 г.

Типография МГТУ им. Баумана.