УДК 62-50

В.А.Фурсов

# ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЛА С ЭПИЗОДИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ

Для адаптивного цифрового управления многорежимным ЛА в работе /I/ предложен принцип поэтапного управления с параллельной эпизодической идентификацией. Основные его черты следующие.

I. Разделение во времени этапов изучения идентификации) объекта и перестройки структуры и (или) параметров регулятора.

2. Двухуровневая перестройка регуляторапо замкнутой и разомкнутой (в функциии измеряемых параметров движения по заранее заданному закону) схемам адаптации.

3. Эпизодическая перестройка характеристик регулятора только в том случае, когда они не удовлетворяют требованиям и характеристикам замкнутой системы.

Построение систем на основе указанных признаков позволяет:

- повысить живучесть системы;

- разрешить (без потери устойчивости) основное противоречие дуального управления между познавательной и направляющей сторонами управляющего воздействия;

- повысить технологичность отработки отдельных блоков и алгоритмов в процессе их проектирования и испытаний.

Алгоритмы управления, идентификации и адаптации в данном случае могут строиться независимо друг от друга, но должны быть согласованы по входной и выходной информации. Для этого необходимо либо использовать однотипные модели, либо предусмотреть соответствующие их преобразования. В настоящей работе приводится пример того как может быть построена адаптивная система, в которой для перестройки регулятора требуется использование непрерывной модели ЛА. Основная проблема при этом - как организовать определение характеристик такой модели с достаточной точностью и надежностью, исключающими ложные перестройки системы.

<u>Описание исходной системы.</u> Дифференциальное уравнение продольного углового движения летательного аппарата имеет вид

$$\ddot{v} + c_{\blacktriangledown}\dot{v} + c_v v = c_u u + F, \qquad (1)$$

где $v$ – угол тангажа, $c_{\blacktriangledown}$, $c_v$ – коэффициенты, характеризующие демпфирование и статическую устойчивость обьекта, а $c_u$, $u$ – эффективность и угол отклонения рулей высоты соответственно, $F$ – возмущение. Закон управления имеет вид

$$u = k_I(v_з - v) + k_2\dot{v} + k_3\int_{t_0}^{t}(v_з - v)d\tau \qquad (2)$$

Относительно параметров $c_{\blacktriangledown}$, $c_v$, $c_u$ априори известна лишь область их изменения, но конкретные их значения на фиксированном режиме полета неизвестны. Известно также, что во всей допустимой области режимов полета обьект статически устойчив: $c_{\blacktriangledown}>0$, $c_v>0$. Информацией, доступной для наблюдения, являются угол отклонения руля высоты – $u$, угол тангажа – $v$, скорость изменения угла тангажа – $\dot{v}$, измеряемые в дискретные моменты времени.

Обычно в адаптивных системах описываемого класса в рамках традиционного подхода к построению алгоритмов идентификации используются модели в виде разностных уравнений типа смешанной регрессии /I/. Однако это усложняет алгоритмы перестройки, т.к. имеющие ясный физический смысл исходные характеристики непрерывной модели "замешиваются" в коэффициентах разностного уравнения сложным образом. В настоящей работе предлагается в интересах адаптации осуществлять идентификацию непрерывной модели, предварительно преобразовав ее соответстующим образом.

<u>Построение соотношений для перестройки параметров регулятора.</u> По уравнениям (I),(2) записывается передаточная функция замкнутой системы по управлению и от нее при условии

$$c_v k_I^2 - - k_3(k_3 - k_I k_2 c_u - c_{\blacktriangledown} k_1) \qquad (3)$$

переходят к эквивалентной передаточной функции второго порядка: $W(s) = (T_o^2 s^2 + 2T_o\xi s + 1)$, где

$$T_o^2 = 1/(c_u k_1) \qquad (4)$$

$$\xi = -(k_3 - k_I k_2 c_u - c_{\blacktriangledown} k_1)/(2T_o c_u k_1^2) \qquad (5)$$

Здесь предполагается, что замкнутая система устойчива, а отношение $(k_1/k_3) >> 0$. Это требование выполняется, т.к. обьект статически устойчив. Более того соответствующим выбором $T_o$ это неравенство всегда можно усилить, чтобы переход к передаточной функции колебательного звена был правомерным.

Соотношения (3),(4),(5) при заданных $T_o, \xi$, обеспечивающих требуемое качество процессов в системе, однозначно определяют три параметра закона управления:

$$k_1 = (c_u T_o^2)^{-1}, \tag{6}$$

$$k_3 = c_{\dot v} / (2c_u \xi T_o) \tag{7}$$

$$k_2 = (4\xi^2 + c_v T_o^2 - 2\xi T_o c_{\dot v}) / (2c_u \xi T_o) \tag{8}$$

Для реализации перестройки системы по этим соотношениям необходимо эпизодически определять, фигурирующие в правой части соотношений (6)-(8), параметры $c_{\dot v}$, $c_v$, $c_u$.

<u>Идентификация параметров непрерывной модели.</u> Определение указанных параметров связано со следующим затруднением. Дело в том, что вторая производная угла тангажа , обычно, не измеряется, а ее вычисление, ввиду шумов измерений, приводит к большим погрешностям. Поэтому предлагается идентификацию проводить по интегралам исходных процессов $\dot v$, $v$, $v$ и $u$.

Исходное уравнение (I) возмущенного движения обьекта, в предположении, что коэффициенты $c_{\dot v}$, $c_v$, $c_u$ и возмущения F за время набора данных для идентификации изменяются незначительно, можно представить в виде

$$\dot v + c_{\dot v} v + c_v \int_{t_0}^{t} v(\tau)d\tau = c_u \int_{t_0}^{t} u(\tau)d\tau + F(t-t_0) + c_0 \tag{9}$$

Неизвестная константа $c_0$ обусловлена наличием ненулевых начальных условий и неконтролируемых возмущений по угловой скорости тангажа, которые на интервале идентификации также можно считать постоянными.

Уравнение (9) можно записать в компактном виде типа уравнения регрессии:

$$y(n) = c^T x(n), \quad n=\overline{1,N},$$

где $y(n) = \dot v(nT)$, $c^T = \left[-c_{\dot v}, -c_v, c_u, F, c_0\right]$.

$$x(n) = \left[x_1(n), \ldots, x_5(n)\right]^T = \left[v(nT), \int_{t_0}^{nT} v(\tau)d\tau, \int_{t_0}^{nT} u(\tau)d\tau, nT, 1\right]^T.$$

T-интервал дискретности (t=nT), N - число измерений.

В приведенных обозначениях традиционная МНК-оценка свектора параметров с запишется в виде

$$c = \left[ S^T S \right]^{-1} S^T Y,$$

где $S^T = \left[x(1), x(2), \ldots, x(N)\right]$, $Y = \left[y(1), y(2), \ldots, y(N)\right]^T$.

Эта оценка, как известно /2/, весьма чувствительна к аномальным ошибкам типа сбоев. Существенно лучших результатов можно добиться уточнением оценок с помощью нескольких итераций алгоритма типа ОМНК:

$$c(m) = \left[ S^T G^2(m) S \right]^{-1} S^T G^2(m) Y,$$

где $G(m)$- диагональная матрица, составленная из весовых коэффициентов

$$g_n(m) = f\left\{\varepsilon_n(m)\right\} = f\left\{y(n) - c^T(m)\, x(n)\right\},\ n = \overline{1,N},\ m = 1, 2, \ldots \qquad (10)$$

В работе рассматриваются различные типы функций в правой части (10) и соответствующие им алгоритмы идентификации, основывающиеся на идее минимизации длины вектора невязок $\left[\varepsilon_1(m), \ldots, \varepsilon_N(m)\right]^T$ на каждом шаге оценивания.

Следующий важный аспект настоящей работы - применение алгоритмов предварительного контроля информативности данных. Под неинформативностью данных в данном случае понимается плохая обусловленность задачи идентификации, что может иметь место при "вялых" процессах в основном контуре управления. Контроль осуществляется по, так называемому, показателю диагонального преобладания

$$\Phi = \left(\sum a_{ii}\right)^2 / \sum a_{ij}^2 \quad \text{матрицы} \quad A = S^T S.$$

Указанный метод контроля информативности основывается на установленной автором связи показателя диагонального преобладания с проблемой собственных значений.

Список литературы

1.Николаев Ю.А.,Теряев Е.Д.,Шамриков Б.М. Разработка алгоритма параметрической идентификации для адаптивной системы управления самолетом. Докл.на V симп.ИФАК,т.2, Пергам.пресс,1979.

2.Фурсов В.А.,Анализ точности и построение алгоритмов идентификации по малому числу наблюдений //Изв.РАН,Тех.кибер. - N6. - 1991.