Таким образом, применение выражения (7) позволяет осуществить вычисление интервального номера $l_{инт}(z)$ на основе только модульных процедур.

Выводы: В ходе выполнения работы был разработан алгоритм вычисления $l_{инт}(z)$, характеризующийся минимальными схемными затратами. Кроме того, проведенные исследования показали, что с увеличением разрядности вычислительного устройства эффективность алгоритма (24) возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вариченко Л.В. Абстрактные алгебраические системы и цифровая обработка сигналов. - Киев: Наука думка, 1986. -.247 с.

2. Калмыков И.А., Червяков Н.И., Щелкунова Ю.О., Бережной В.В. Математическая модель нейронных сетей для исследования ортогональных преобразований в расширенных полях Галуа/Нейрокомпьютеры: разработка, применение. №6, 2003. с.61-68.

3. Калмыков И.А. Математические модели нейросетевых отказоустойчивых вычислительных средств, функционирующих в полиномиальной системе классов вычетов/Под ред. Н.И. Червякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 276 с.

4. Калмыков И.А. Устройство для вычисления сумм парных произведений/Патент № 2012041 /Открытия. Изобретения. - 1994. Бюл. № 8.

ADAPTIVE ALGORITHM OF ROBUST CONTROL FOR NONLINEAR NONSTATIONARY SYSTEMS

Krasnov I.Y.
Tomsk polytechnic university;
Tomsk

Essentially important desirable property of adaptive methods of synthesis of control algorithms is robustness, which, in this case, is understand as tolerance of results to changes of conditions of measuring. Robustness of algorithms is achieved by means of indemnification of disturbances to which influence the object of control is exposed. In the present paper the synthesis algorithm of robust control for nonlinear non-stationary systems with compensation of influence of disturbances and noises is offered by parametrical adaptation of a regulator and restoration of the current condition on previous.

Assume, that the mathematical model of functioning system is described by the system of nonlinear nonstationary difference equations of a kind [1]:

$$x(k+1) = \tilde{A}(k, x(k)) \cdot x(k) + \tilde{b}(k, x(k)) \cdot u(k), \quad x(0) = x_0, \tag{1}$$

where $x(k)$ – the m-dimensional vector, which components define a state of the system in a step k; $u(k)$ – m-dimensional vector of control influences; $\tilde{A}(k)$ – the matrix of parameters of object of control with $(n \times n)$ dimension, $\tilde{b}(k)$ – the matrix of influence of control with $(n \times m)$ dimension; x_0 – the initial condition of the system at the moment of time t_0; (t_0, N) – the period of simulation; the step k corresponds to the moment of time $t_k = t_0 + k \cdot \Delta t$, Δt – the period of quantization of a signal on time.

The cost function is [2]:

$$J = \int_{t_k}^{t_k + lp \cdot \Delta t} \left[\left(x(t) - x_{\text{des.}}(t) \right)^T \cdot Q_{\text{cr.}} \cdot \left(x(t) - x_{\text{des.}}(t) \right) + \right.$$

$$\left. + u^T(t) \cdot R^{-1}_{\text{cr.}} \cdot u(t) + u_{\text{opt.}}{}^T(t) \cdot R^{-1}_{\text{cr.}} \cdot u_{\text{opt.}}(t) \right] dt, \tag{2}$$

where $[t_k, t_k + lp \cdot \Delta t]$ – sliding interval of optimization of predicting model of a kind:

$$x^m(j+1) = \tilde{A}(k, x(k)) \cdot x^m(j) + \tilde{b}(k, x(k)) \cdot u(k), \quad x^m(j=k) = x(k),$$
$$j = k, k+1, \ldots, k + lp - 1.$$

In (2) $Q_{\text{cr.}}$ – nonnegative matrix $(n \times n)$, a $R_{\text{cr.}}$ – positive matrix $(m \times m)$; $x_{\text{des.}}$ – desired state of the system; $u_{opt.}$ – optimum control, minimizing (2).

The length of the interval of optimization is calculated as follows [3]:

$$lp = 1 + ceil\left[norme(\hat{A}(k) - \tilde{A}(k)) + norme(\hat{B}(k) - \tilde{B}(k)) \right],$$

where *ceil* – the function of a rounding off of value up to an integer, *norme* – Euclid's norm of a matrix; matrixes $\hat{A}(k, \hat{x}(k)), \hat{B}(k, \hat{x}(k))$ are calculated on a condition $\hat{x}(k)$, found in result of "run" of predicting model for one step.

$$\hat{x}(k) = \hat{A}(k-1, \hat{x}(k-1)) \cdot \hat{x}(k-1) + \hat{B}(k-1, \hat{x}(k-1)) \cdot u(k-1),$$
$$\hat{x}(0) = x(0), \ \hat{A}(0, \hat{x}(0)) = \tilde{A}(0, x(0)), \ \hat{B}(0, \hat{x}(0)) = \tilde{B}(0, x(0)).$$
$$k = 1, 2, \ldots$$

We synthesize the controller providing tracking property of the system to the set condition and a minimum of cost function (2). Control $K(k)$ is defined as:

$$K(k) = R^{-1}_{\text{cr.}} \cdot u_2(k),$$

where $u_2(k)$ – the solution of system of difference equations in back time:

$$x^m(j-1) = 2 \cdot x^m(j) - A(k, x(k)) \cdot x^m(j) - B(k, x(k)) \cdot u(k), \quad x^m(k+lp) = x(k+lp),$$
$$u_1(j-1) = A^T(k, x(k)) \cdot u_1(j) + \Delta t \cdot Q_{\text{cr.}} \cdot \left(x^m(j) - x_{\text{des.}}(k) \right), \quad u_1(k+lp) = x_{\text{des.}}(k+lp),$$
$$u_2(j-1) = u_2(j) + B^T(k, x(k)) \cdot u_1(j) + \Delta t \cdot R_{\text{cr.}} \cdot u(k), \quad u_2(k+lp) = 0,$$
$$j = k + lp, k + lp - 1, \ldots, k + 1.$$

Control value $u(k)$ is searched as [4]:

$$u(k) = K(k) \cdot e^{\left[\frac{norm}{\Delta t^2} \cdot \left(-sign\left(\sum_{i,j} (a_{i,j}^{(k)} - \hat{a}_{i,j}^{(k)})\right)\right)\right]},$$

where $norm = norme(A(k) - \hat{A}(k)) + norme(B(k) - \hat{B}(k))$, $a_{i,j}^{(k)}, \hat{a}_{i,j}^{(k)}$ – elements of matrixes $A(k), \hat{A}(k)$ accordingly.

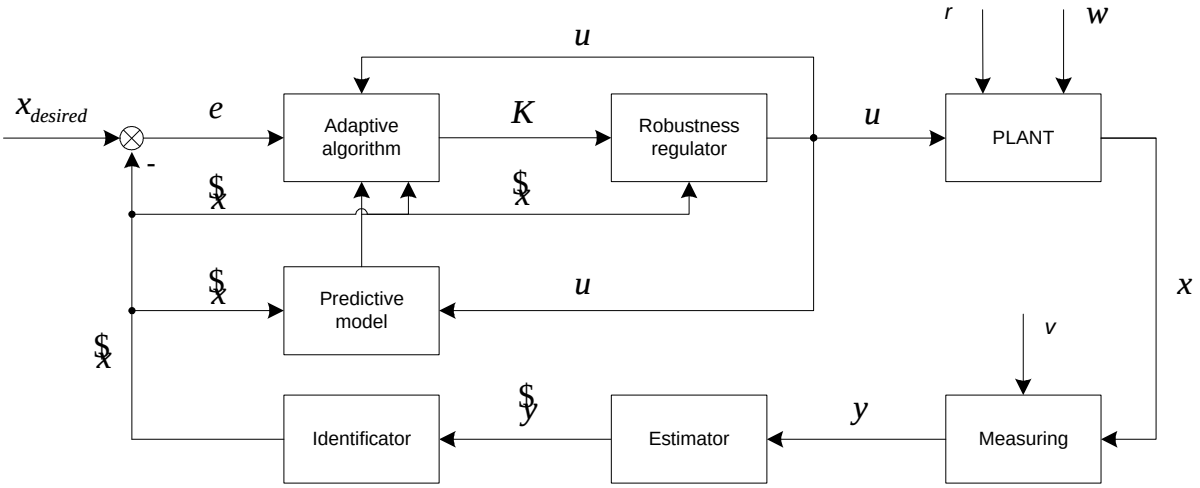

Fig. 1. The Structure of an adaptive control system with robust regulator

On the fig. 1: r – not measured disturbances, influencing in the uncontrollable way on properties of object of control, i.e. on matrixes $\hat{A}$ and $\hat{B}$ of parameters of the system; w and v – randomize values, described as "mean-zero Gaussian noises".

The measuring channel is described by the equation:

$$y(k) = C \cdot x(k) + v(k),$$

where C – the matrix of measuring channel with $(m \times n)$ dimension.

The estimating of states of system and identification of its not measured parameters is realized by two in parallel working discrete Kalman's filters.

Let's present the equation (1) as:

$$x(k+1) = \Phi(x(k), u(k)) \cdot \Theta(k) + f(x(k), u(k)) + w(k),$$

where $\Theta(.)$ – n-dimensional vector, which includes non measured parameters.

Thus the measuring channel becomes:

$$y(k+1) = C \cdot \left(\Phi(\hat{x}(k), u(k)) \cdot \Theta(k) + f(\hat{x}(k), u(k))\right) + v(k).$$

The recursive algorithm for an estimation of states [2]:

$$\hat{x}(k+1) = \hat{x}(k/k+1) + L(k) \cdot \left[y(k+1) - C \cdot \hat{x}(k/k+1)\right],$$

$$\hat{x}(k/k+1) = A(k, \hat{\Theta}(k)) \cdot \hat{x}(k) + B(k, \hat{\Theta}(k)) \cdot u(k) + w(k), \hat{x}(0) = x_0,$$

$$L(k) = P_x(k/k+1) \cdot C^T \cdot \left[C \cdot P_x(k/k+1) \cdot C^T + R\right]^{-1},$$

$$P_x(k/k+1) = A(k, \hat{\Theta}(k)) \cdot P_x(k) \cdot A^T(k, \hat{\Theta}(k)) + Q,$$

$$P_x(k+1) = \left[I - L(k) \cdot C\right] \cdot P_x(k/k+1),$$

$$P_x(0) = P_{x_0}.$$

Here Q, R – covariance matrixes for noises w and v accordingly, I – identify matrix; $\hat{x}(k/k+1)$ - is the estimate of $x(k)$ given past measurements up to $y(k-1)$; $\hat{x}(k/k)$ is the updated estimate based on the last measurement $y(k)$.

In the block kind discrete Kalman's filter:

$$x(k+1/k) = A(k, \hat{\Theta}(k)) \cdot (I - L(k) \cdot C) \cdot \hat{x}(k/k+1) + \left[B(k, \hat{\Theta}(k)) \;\; A(k, \hat{\Theta}(k)) \cdot L(k)\right] \cdot \begin{bmatrix} u(k) \\ y(k) \end{bmatrix},$$

$$\hat{y}(k/k) = C \cdot (I - L(k) \cdot C) \cdot \hat{x}(k/k+1) + C \cdot M \cdot y(k).$$

Identification of parameters we will realize by following Kalman's filter:

$$\Theta(k+1) = \Theta(k) + L(k) \cdot \left[y(k+1) - C \cdot \Phi(\hat{x}(k), u(k)) \cdot \Theta(k) - C \cdot f(\hat{x}(k), u(k)) \right], \Theta(0) = \Theta_0,$$

$$L(k) = P_\Theta(k) \cdot \Phi^T(\hat{x}(k), u(k)) \cdot M(k)^{-1},$$

$$M(k) = C \cdot \Phi(\hat{x}(k), u(k)) \cdot P_\Theta(k) \cdot \Phi^T(\hat{x}(k), u(k)) \cdot C^T + C \cdot Q \cdot C^T + R,$$

$$P_\Theta(k+1) = \left[I_n - L(k) \cdot C \cdot \Phi(\hat{x}(k), u(k)) \right] \cdot P_\Theta(k),$$

$$P_\Theta(0) = P_{\Theta_0}.$$

The developed algorithm has been used in the control system for controlling a speed of turning of blades of a propeller of a vessel. At sufficiently great speed of the ship turning of blades of a propeller with rated speed (1.8 degrees per second) result in sharp increase of torque in the diesel engine that is inadmissible as a safety matter. For functioning system with the set requirements (rates a torque of the engine is in allowable limits) also is necessary to take into account external disturbances (for example, influence of waves). Transients on a angle of turn of blades are performed on fig. 2.

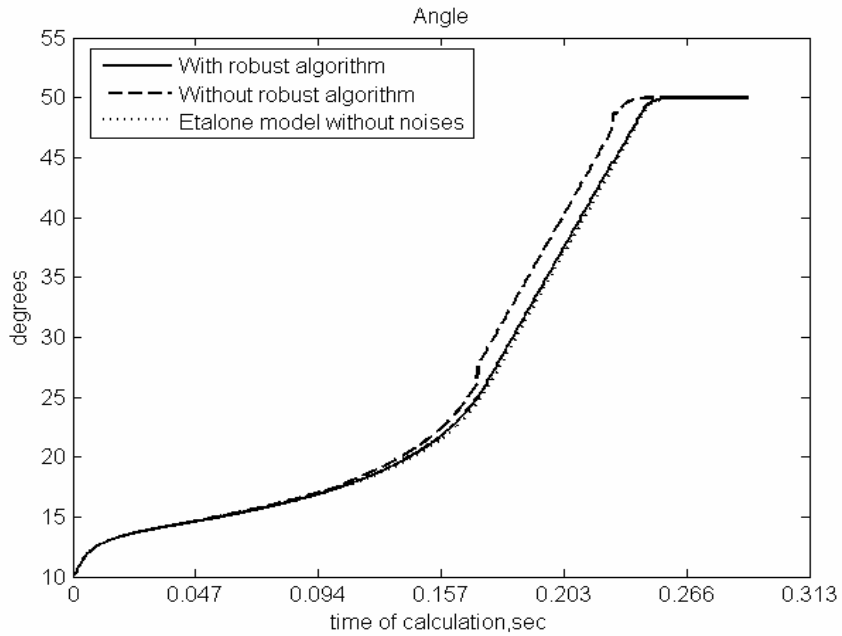

Fig. 2. The result of simulation (angle of turning of propeller blades)

Estimations of a root-mean-square deviation of transients from a standard (etalon) trajectory are counted: 2.5353 for algorithm without robust regulator and 0.4174 - with it. According to the results, it is possible to conclude efficiency of the desired algorithm.

Still recently rough systems keeping the characteristics at deviations of parameters from settlement values were projected, as a rule, "to the touch" by simple selection of parameters at modeling as regular procedures of designing were not in most cases.

In the modern control theory more and more attention is given to sensitivity of algorithms for disturbances.

REFERENCE

1. Su D., Meyer A. Modern theory of automatic control and its application. - Moscow: Mechanical engineering, 1972. - 544 pp.

2. Reshetnikova G.N. Adaptive control of linear discrete stochastic systems by criterion of the generalized work //Proceedings of the Academy of Sciences the USSR. Tech. Cybernetics. - 1989. - №3, 11 pp.

3. Bukreev V.G., Krasnov I.Yu. Algorithm of optimum control of non-stationary electromechanical objects //Materials of IV All-Russian scient.-tech. conf. (MAMI-2003) «Measurements, automation and modeling in the industry and scientific researches». - Biisk, 2003. - p. 8-11.

4. Granichin O.N., Polyak B.T. Randomized algorithms of estimating and optimization at almost arbitrary noises. - Moscow: The Science, 2003. - 291 pp.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РАДИООПТИЧЕСКИХ УГЛОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MATLAB 7.01

Макарецкий[1] Е.А., Нгуен Ван Тхыонг[2]
[1]*Тула, ТулГУ*
[2]*Р. Вьетнам*

Предложены принципы построения и алгоритмы работы интеллектуальных многоканальных угловых преобразователей угловых величин на основе многослойных резонансных оптических структур (мрос), обеспечивающие расширение диапазона измеряемых углов при сохранении высокой точности измерений. А также их моделирование и тестирование их работоспособности с помощью программы Matlab 7.01

Анализ тенденций развития сенсорной техники показывает, что основным направлением ее совершенствования является увеличение числа и усложнение функций, выполняемых датчиками на основе создания многофункциональных (интеллектуальных) устройств [1].

Интеллектуальные датчики обладают широкими функциональными возможностями за счет использования встроенного микропроцессора, осуществляющего функции первичной обработки информации, линеаризации характеристики преобразования измеряемого параметра, компенсации влияния внешних факторов и др.

Оптические датчики угловых величин на основе МРОС являются одними из наиболее перспективных в своем классе [1]. Многослойные резонансные оптические структуры при углах падения, близких к углу полного внутреннего отражения, отличаются аномально высокими углоизбирательными свойствами, заключающимися в сильной зависимости оптического пропускания и отражения от угла падения излучения. Их оптическое пропускание изменяется от минимального до максимального значений при отклонении угла падения входного пучка на десятые доли угловой секунды. Это позволяет эффективно использовать их в качестве высокочувствительных угловых датчиков (угловых дискриминаторов), а также для пространственно-угловой фильтрации оптических пучков [1].

Наиболее распространенные одномерные односторонние МРОС характеризуются многорезонансным характером оптического пропускания, заключающимся в существовании набора углов падения излучения, для которых имеет место резонансное пропускание, при чем уровень пропускания для различных резонансов различен (рис. 1).

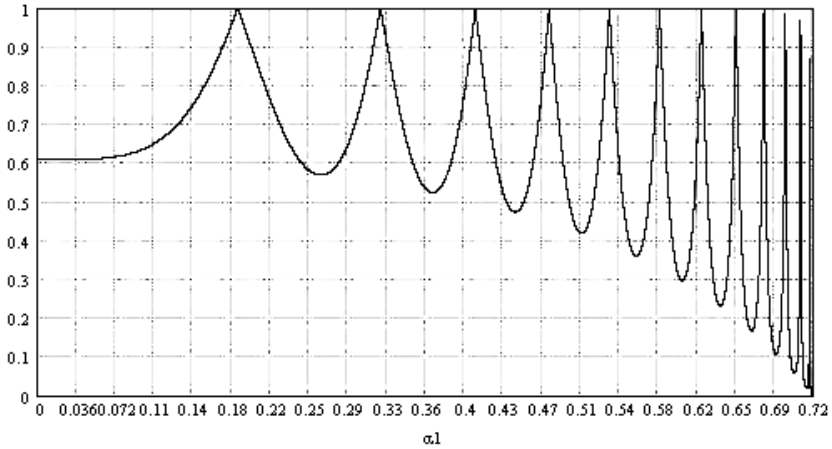

Рисунок 1. Расчетная характеристика зависимости оптического пропускания РМОС от угла падения излучения в режиме угловой фильтрации.

Известные измерительные устройства на мрос используют прохождение излучения в пределах только одного углового резонанса, что позволяет достигнуть высокой точности измерений при сравнительно небольшом диапазоне изменения входных углов падения излучения.

Дальнейшее совершенствование угловых дискриминаторов на основе мрос. Основным методом расширения рабочего диапазона является использование многоканальных (параллельных) структур, отличающихся своими параметрами. В этом случае для любого значения угла падения входного пучка в пределах диапазона $-a_{\max} < a < a_{\max}$ каждый канал формирует свой выходной сигнал в соответствии с конкретной характеристикой оптического пропускания. Поскольку параметры мрос каналов различны, то и совокупность значений выходных сигналов для каждого входного угла падения излучения будет индивидуальной. Обработка величин выходных сигналов с учетом конкретных характеристик каналов позволяет определить угол падения излучения.

Авторами разработаны различные алгоритмы определения угла падения входного излучения [2].

Общая модель интеллектуального оптического углового преобразователя, разработанная авторами, представлена на рис. 2.