яке визначає множину каналів керування класу програмних об’єктів. На основі отриманих результатів дослідження запропоновано метод синтезу моделей станів програмних об’єктів ООПЗ.

Запропонований метод забезпечує формалізацію процесу визначення станів та їх взаємозв’язків у життєвому циклі екземпляра класу ООПЗ, а також дозволяє зменшити трудомісткість процесу розробки динамічної компоненти комплексної моделі ООПЗ під час її проектування на логічному рівні.
програмне забезпечення, автоматизована система, екземпляр класу, об’єктно-орієнтована модель, скінченно-автоматна модель, поведінка об’єкта, стан об’єкта

Одержано 27.02.14

УДК 681.513.5

Б.М. Гончаренко, д-р техн. наук
Національний університет харчових технологій
Л.Г. Віхрова, канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Алгоритм синтезу оптимальних робастних регуляторів

Розглядається задача побудови оптимального робастного керування у вигляді зворотного зв'язку від стану лінійної динамічної системи, яке мінімізує інтегрально-квадратичний функціонал при найбільш несприятливих збуреннях системи. Отримано однопараметричне сімейство мінімаксних регуляторів, при яких заданий критерій не перевищує деякого граничного значення. Оптимальне мінімаксне керування знаходиться шляхом пошуку мінімально допустимого порогового значення функціоналу за допомогою чисельних ітераційних методів.
оптимізаційна задача, робастність, синтез робастного регулятора, рівняння Ріккаті, функція

Гамільтона, сполучена система, критеріальна задача
Б.Н. Гончаренко, д-р техн. наук
Национальный университет пищевых технологий
Л.Г. Вихрова, канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет
Алгоритм синтеза оптимальных робастных регуляторов

Рассматривается задача построения оптимального робастного управления в виде обратной связи от состояния линейной динамической системы, которое минимизирует интегрально-квадратичный функционал при наиболее неблагоприятных возмущениях системы. Получено однопараметрическое семейство минимаксных регуляторов, при которых заданный критерий не превышает некоторого граничного значения. Оптимальное минимаксное управление находится путём поиска минимально допустимого порогового значения функционала при помощи численных итерационных методов.
оптимизационная задача, робастность, синтез робастного регулятора, уравнение Риккати, функция Гамильтона, соединённая система, критериальная задача

Вступ. Більшість реальних систем або об'єктів керування функціонує [1] в умовах невизначеності, пов'язаної з недостатньою інформацією про об'єкт керування, неточністю його математичної моделі, вихідних даних і т.д. Тому завданням керування об'єктами, що функціонують в умовах невизначеності, приділялася і продовжує приділятися велика увага [2]. У даній роботі розглядається і пропонується розв’язок задачі побудови гарантованого керування лінійною системою, що знаходиться під впливом збурень невідомої природи, які належать до обмеженої області у вигляді заданого еліпсоїда.

Постановка проблеми та аналіз останніх досягнень. Розглянемо динаміку стану лінійного об'єкта $x(t)$ при керуванні $u(t)$ і зовнішніх збуреннях $f_0, f(t)$

$$\begin{cases} \dfrac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t) + K(t)f(t), \qquad 0 < t \le T, \\ x(0) = Lf_0, \end{cases} \tag{1}$$

де $x(t) \in \mathbf{R}^n$ – вектор стану, $u(t) \in \mathbf{R}^m$ – вектор керування, $f(t) \in \mathbf{R}^r$ –невідомий вектор зовнішніх збурень, що діють на систему, $f_0 \in \mathbf{R}^l$ –також невідомий вектор, що збурює систему (1) в початковий момент часу, $A(t) \in \mathbf{R}^{n\times n}$, $B(t) \in \mathbf{R}^{n\times m}$, $K(t) \in \mathbf{R}^{n\times r}$, $L \in \mathbf{R}^{n\times l}$ – задані матриці.

Передбачається, що область допустимих збурень задається у вигляді еліпсоїда

$$S_f = \left\{ f : f = \left(f_0, f(\cdot)\right),\ \left(F_0 f_0, f_0\right) + \int_0^T \left(F(t)f(t), f(t)\right)dt \le 1 \right\}, \tag{2}$$

де $F_0 = F_0^T > 0$, $F(t) = F^T(t) > 0$ – відомі вагові матриці.

Введемо [3] інтегрально-квадратичний критерій оптимальност

$$I(u,f) = \left(Hx(T), x(T)\right) + \int_0^T \left(\left(G(t)x(t), x(t)\right) + \left(D(t)u(t), u(t)\right)\right)dt, \tag{3}$$

де $H = H^T \ge 0$, $G(t) = G^T(t) \ge 0$, $D(t) = D^T(t) > 0$ – задані матриці і розглянемо задачу пошуку оптимального керування об'єктом (1).

Знайти оптимальне керування u^*, що задовільняє умову

$$J(u^*) = \inf_{u\in U}\left\{ \sup_{f\in S_f} I(u,f) \right\}, \tag{4}$$

де $I(u,f)$ – функціонал виду (3).

Мета статті. Визначення можливості застосування теорії оптимального робастного керування до синтезу працездатних (робастних) систем в умовах невизначеності.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення означеної мети перетворимо спочатку множину допустимих збурень S_f.

Для цього нагадаємо [3], що будь-яка симетрична позитивно визначена матриця F допускає факторизацію виду $F = \Phi\Lambda\Phi^T$, де Φ – ортогональна матриця $\Phi^{-1} = \Phi^T$, яка складається з ортонормованих власних вектор-стовпців матриці F, $\Lambda = diag\left(\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_r\right)$ – діагональна матриця власних значень $\lambda_i > 0$ матриці F. Якщо позначити $\Lambda^{1/2} = diag\left(\sqrt{\lambda_1}, \sqrt{\lambda_2}, ..., \sqrt{\lambda_r}\right)$, то матрицю F можна представити у вигляді $F = F^{1/2} \cdot F^{1/2}$, де $F^{1/2} = \Phi\Lambda^{1/2}\Phi^T$ ($F^{1/2} = \left(F^{1/2}\right)^T$).

Введемо тепер множину $\Omega_{n,m}$ виду

$$\Omega_{n,m} = \left\{ \begin{pmatrix} a_0 \\ a(t) \end{pmatrix} :\ a_0 \in R^n,\ a(t) \in L_2^m(0,T);\ \ a_0^T a_0 + \int_0^T a^T(t)a(t)dt < \infty \right\},$$

де

$$L_2^n(0,T) = \left\{ a :\ a = a(t) = \left(a_1(t), a_2(t), ..., a_n(t)\right)^T,\ a_i(t) \in L_2(0,T),\ i = 1,2,...,n \right\}$$

і визначимо на ньому скалярний добуток норми

$$\left\langle a,b\right\rangle_{\Omega_{n,m}} = a_0^T b_0 + \int_0^T a^T(t)b(t)dt\,, \qquad \|a\|^2_{\Omega_{n,m}} = \left\langle a,a\right\rangle_{\Omega_{n,m}} = a_0^T a_0 + \int_0^T a^T(t)a(t)dt\,,$$

де $a = \begin{pmatrix} a_0 \\ a(t) \end{pmatrix} \in \Omega_{n,m}$, $b = \begin{pmatrix} b_0 \\ b(t) \end{pmatrix} \in \Omega_{n,m}$.

Якщо ввести позначення для вектора збурення

$$w_0 = F_0^{1/2} f_0\,,\ w(t) = F^{1/2}(t) f(t)\,, \tag{5}$$

то ліву частину нерівності, що задає обмеження (2), можна перетворити так

$$\left(F_0 f_0, f_0\right) + \int_0^T \left(F(t)f(t), f(t)\right)dt = \left(w_0, w_0\right) + \int_0^T \left(w(t), w(t)\right)dt = \left\langle w,w\right\rangle_{\Omega_{l,r}} = \|w\|^2_{\Omega_{l,r}}\,,$$

де $w = \begin{pmatrix} w_0 \\ w(t) \end{pmatrix} \in \Omega_{l,r}$. (6)

Таким чином, множину S_f еквівалентно перетворили на множину S_w ($S_f \leftrightarrow S_w$) виду

$$S_w = \left\{ w:\ w = \left(w_0, w(t)\right),\ \|w\|_{\Omega_{l,r}} \le 1 \right\}. \tag{7}$$

Якщо ввести позначення $v(t) = D^{1/2}(t)u(t)$, $B_v(t) = B(t)D^{-1/2}(t)$,

$$K_w(t) = K(t)F^{-1/2}(t)\,,\ L_w = LF_0^{-1/2}, \tag{8}$$

то система (1) запишеться так

$$\begin{cases} \dfrac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B_v(t)v(t) + K_w(t)w(t), & 0 < t \le T, \\ x(0) = L_w w_0, \end{cases} \tag{9}$$

а функціонал критерію (3) оптимальності матиме вигляд

$$I(u,f) = \left(Hx(T), x(T)\right) + \int_0^T \Big(\left(G(t)x(t), x(t)\right) + \left(D(t)u(t), u(t)\right)\Big)dt =$$

$$= \left(H^{1/2}x(T), H^{1/2}x(T)\right) + \int_0^T \Big(\left(G^{1/2}(t)x(t), G^{1/2}(t)x(t)\right) + \left(v(t), v(t)\right)\Big)dt = I(v,w)\,, \tag{10}$$

де ν – вектор керувального діяння.

Очевидно, що функціонал $I(v,w)$ можна представити у вигляді

$$I(v,w) = \left\langle z,z\right\rangle_{\Omega_{n,n+m}} = \|z\|^2_{\Omega_{n,n+m}}\,, \tag{11}$$

де $z = \begin{pmatrix} H^{1/2}x(T) \\ G^{1/2}(t)x(t) \\ v(t) \end{pmatrix}$ – вектор контрольованих змінних (параметрів).

Оскільки система (9) лінійна, то існує лінійний передавальний оператор R_v, який залежить від обраної стратегії керування, що відображає вектор вхідних впливів $w \in \Omega_{l,r}$ на вектор контрольованих змінних z, т.т.

$$z = R_v(w)\,,\ w \in \Omega_{l,r}\,,\ z \in \Omega_{n,n+m}\,. \tag{12}$$

Таким чином, функціонал (11) може бути записаний у вигляді

$$I(u,f) = I(v,w) = \|z\|^2_{\Omega_{n,n+m}} = \|R_v(w)\|^2_{\Omega_{n,n+m}} \tag{13}$$

і отримуємо

$$\sup_{f\in S_f} I(u,f)=\sup_{w\in S_w}\left\|R_v(w)\right\|^2_{\Omega_{n,n+m}}=\sup_{\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}\le 1}\left\|R_v(w)\right\|^2_{\Omega_{n,n+m}}=\sup_{w\in\Omega_{l,r},w\ne 0}\frac{\left\|R_v(w)\right\|^2_{\Omega_{n,n+m}}}{\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}}=\left\|R_v\right\|^2_{\Omega},\tag{14}$$

де $\left\|R_v\right\|_{\Omega}$ – норма передавального оператора R_v, породжена нормами просторів $\Omega_{n,m}$.

У підсумку вихідна оптимізаційна задача (4) зводиться до еквівалентної оптимізаційної задачі виду

$$J(v)=\sup_{w\in S_w} I(v,w)=\left\|R_v\right\|^2\to\inf_{v\in V}\cdot \tag{15}$$

Для її розв'язку знайдемо спочатку субоптимальне керування v, що задовольняє умову

$$\left\|R_v\right\|^2\le\gamma^2, \tag{16}$$

де γ – деяке задане порогове значення.

Враховуючи, що

$$\sup_{w\in\Omega_{l,r},w\ne 0}\frac{\left\|R_v(w)\right\|^2_{\Omega_{n,n+m}}}{\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}}=\left\|R_v\right\|^2\le\gamma^2,$$

приходимо до еквівалентної нерівності

$$\frac{\left\|R_v(w)\right\|^2_{\Omega_{n,n+m}}}{\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}}\le\gamma^2$$

або $\left\|R_v(w)\right\|^2_{\Omega_{n,n+m}}-\gamma^2\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}\le 0$ для всіх $w\in\Omega_{l,r}$.

Введемо позначення

$$J_\gamma(v,w)=\left\|R_v(w)\right\|^2_{\Omega_{n,n+m}}-\gamma^2\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}\cdot \tag{17}$$

Оскільки нерівність $J_\gamma(v,w)\le 0$ повинна виконуватися для всіх $w\in\Omega_{l,r}$, то має бути справедливою і нерівність

$$\sup_{w\in\Omega_{l,r}} J_\gamma(v,w)\le 0\cdot \tag{18}$$

Таким чином, якщо керування задовольняє нерівність (16), то воно задовольняє і нерівность (18) і навпаки. Враховуючи вид функціоналу $J_\gamma(v,w)$, і керування v будемо знаходити з умови

$$\inf_{v\in L_2^m(0,T)}\sup_{w\in\Omega_{l,r}} J_\gamma(v,w)\le 0\cdot \tag{19}$$

Керування v, яке є розв'язком останньої оптимізаційної задачі будемо називати субоптимальним керуванням [5], параметризованим за параметром γ. Враховуючи еквівалентність нерівностей (16) і (18), приходимо до висновку, що субоптимальне керування з останньої оптимізаційної задачі буде також забезпечувати виконання нерівності (16).

Для розв'язку задачі (19) можна використовувати теорію динамічних (диференціальних) ігор двох осіб з нульовою сумою і з ціною гри, яка визначається функціоналом

$$J_\gamma(v,w)=\left\|R_v(w)\right\|^2_{\Omega_{n,n+m}}-\gamma^2\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}=\|z\|^2_{\Omega_{n,n+m}}-\gamma^2\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}\cdot \tag{20}$$

В якості 1-го гравця (v-гравець) виступає конструктор, який за допомогою відповідного вибору стратегії керування намагається мінімізувати свій програш при виборі стратегії.

Конструктор використовує функціонал $J_\gamma(v,w)$ як міру "вартості", пов'язаної з вибором стратегії керування. Метою цього гравця є побудова регулятора v в формі (8), який мінімізує критерій $J_\gamma(v,w)$ при найбільш несприятливих вхідних впливах w. Це веде до гарантованої якості виконання верхнього значення динамічної гри

$$r(\gamma)=\inf_{v\in L_2^m(0,T)}\sup_{w\in\Omega_{l,r}} J_\gamma(v,w)\cdot \tag{21}$$

Далі, якщо позначити $r(\gamma^*)=\inf_{\gamma>0} r(\gamma)$ або $\gamma^*=\arg\inf_{\gamma>0} r(\gamma)$, то аналогічно з [6] можливо довести, що $(\gamma^*)^2=\inf_{v\in V}\|R_v\|^2$ або $\gamma^*=\inf_{v\in V}\|R_v\|$, де $(\gamma^*)^2$ – мінімальне значення критерію (20) при найбільш несприятливих збуреннях $w\in\Omega_{l,r}$.

Враховуючи (12), перетворимо функціонал $J_\gamma(v,w)$

$$J_\gamma(v,w)=\|R_v(w)\|^2_{\Omega_{n,n+m}}-\gamma^2\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}=\|z\|^2_{\Omega_{n,n+m}}-\gamma^2\|w\|^2_{\Omega_{l,r}}= \tag{22}$$

$$=\big(Hx(T),x(T)\big)+\int_0^T\Big(\big(G(t)x(t),x(t)\big)+\big(v(t),v(t)\big)\Big)dt-\gamma^2\left(\big(w_0,w_0\big)+\int_0^T\big(w(t),w(t)\big)dt\right)$$

.

Перед розв’язком задачі $\inf_{v\in L_2^m(0,T)}\sup_{w\in\Omega_{l,r}} J_\gamma(v,w)$ зазначимо, що

$$\inf_{v\in L_2^m(0,T)}\sup_{w\in\Omega_{l,r}} J_\gamma(v,w)=\sup_{w_0\in R^l}\left\{\inf_{v\in L_2^m(0,T)}\sup_{w\in L_2^r(0,T)} J_\gamma(v,w)\right\}\cdot \tag{23}$$

Для розв’язання мінімаксної задачі $\inf_{v\in L_2^m(0,T)}\sup_{w\in L_2^r(0,T)} J_\gamma(v,w)$ використаємо мінімаксний принцип Понтрягіна, відповідно до якого побудуємо функцію Гамільтона виду

$$\begin{aligned}H(x,v,w,\lambda)&=\big(G(t)x(t),x(t)\big)+\big(v(t),v(t)\big)-\gamma^2\big(w(t),w(t)\big)+\\&+\lambda^T(t)\big(A(t)x(t)+B_v(t)v(t)+K_w(t)w(t)\big),\end{aligned}$$

де x і λ задовольняють наступну систему сполучених рівнянь

$$\begin{cases}\dfrac{dx(t)}{dt}=\nabla_\lambda H(x,v,w,\lambda)=A(t)x(t)+B_v(t)v(t)+K_w(t)w(t),\\[2mm] \dfrac{d\lambda(t)}{dt}=-\nabla_x H(x,v,w,\lambda)=-A^T(t)\lambda(t)-2G(t)x(t),\end{cases}$$

з крайовими умовами

$$x(0)=L_w w_0,\quad \lambda(T)=\nabla_{x(T)}\Big[\big(Hx(T),x(T)\big)\Big]=2Hx(T)\cdot$$

Оптимальне значення $v(w)$ будемо знаходити з умови мінімізації (максимізації) функції $H(x,v,w,\lambda)$ за v (w), тобто з умови

$$\nabla_v H(x,v,w,\lambda)=2v(t)+B_v^T(t)\lambda(t)=0,\quad \nabla_w H(x,v,w,\lambda)=-2\gamma^2 w(t)+K_w^T(t)\lambda(t)=0\cdot$$

Звідки знаходимо

$$v(t)=-\frac{1}{2}B_v^T(t)\lambda(t),\qquad w(t)=\frac{1}{2\gamma^2}K_w^T(t)\lambda(t)\cdot \tag{24}$$

Враховуючи (24), сполучена система перетворюється так

$$\begin{cases} \dfrac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) - \dfrac{1}{2}B_v(t)B_v^T(t)\lambda(t) + \dfrac{1}{2\gamma^2}K_w(t)K_w^T(t)\lambda(t), \\ \dfrac{d\lambda(t)}{dt} = -A^T(t)\lambda(t) - 2G(t)x(t), \end{cases} \qquad (25)$$

$$x(0) = L_w w_0, \quad \lambda(T) = 2Hx(T). \qquad (26)$$

Сполучену функцію $\lambda(t)$ цієї двоточечної крайової задачі будемо знаходити у вигляді

$$\lambda(t) = 2P(t)x(t), \qquad (27)$$

де $P(t)$ – шукана матриця.

Враховуючи сполучену систему (25), знайдемо похідну від функції (27) за часом t

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} = 2\frac{dP(t)}{dt}x(t) + 2P(t)\frac{dx(t)}{dt} = 2\frac{dP(t)}{dt}x(t) +$$

$$+2P(t)\left(A(t)x(t) - \frac{1}{2}B_v(t)B_v^T(t)\lambda(t) + \frac{1}{2\gamma^2}K_w(t)K_w^T(t)\lambda(t) \right) = -2A^T(t)P(t)x(t) - 2G(t)x(t),$$

Звідки отримаємо

$$2\left(\frac{dP(t)}{dt} + P(t)A(t) - P(t)B_v(t)B_v^T(t)P(t) + \frac{1}{\gamma^2}P(t)K_w(t)K_w^T(t)P(t) + \right.$$

$$\left. + A^T(t)P(t) + G(t) \right) x(t) = 0.$$

Враховуючи, що останнє рівняння має виконуватися для всіх $x(t)$, отримаємо

$$\frac{dP(t)}{dt} + P(t)A(t) - P(t)B_v(t)B_v^T(t)P(t) + \frac{1}{\gamma^2}P(t)K_w(t)K_w^T(t)P(t) + A^T(t)P(t) + G(t) = 0,$$

а з (26) і (27) знаходимо початкову умову для останнього рівняння $P(T) = H$.

Таким чином, отримали матричне диференціальне рівняння щодо матриці $P(t)$, зване рівнянням типу Ріккаті

$$\begin{cases} \dfrac{dP(t)}{dt} = -A^T(t)P(t) - P(t)A(t) + P(t)\left(B_v(t)B_v^T(t) - \dfrac{1}{\gamma^2}K_w(t)K_w^T(t) \right)P(t) - G(t), \\ P(T) = H. \end{cases}$$

Враховуючи співвідношення (24) і (27), остаточно отримаємо оптимальні значення для функцій $v(t)$ і $w(t)$, які представимо так

$$v^*(t) = -B_v^T(t)P(t)x(t), \quad w^*(t) = \frac{1}{\gamma^2}K_w^T(t)P(t)x(t). \qquad (29)$$

Значення функціоналу $J_\gamma(v^*, w^*)$, проминаючи проміжні викладки, може мати [6] кінцевий вигляд

$$J_\gamma(v^*, w^*) = w_0^T \left(L_w^T P(0) L_w - \gamma^2 E \right) w_0 .$$

Тоді, враховуючи співвідношення (23), отримуємо (30)

$$\inf_{v \in L_2^m(0,T)} \sup_{w \in \Omega_{l,r}} J_\gamma(v,w) = \sup_{w_0 \in R^l} \left\{ \inf_{v \in L_2^m(0,T)} \sup_{w \in L_2^r(0,T)} J_\gamma(v,w) \right\} = \sup_{w_0 \in R^l} \left\{ J_\gamma(v^*, w^*) \right\} =$$

$$= \sup_{w_0 \in R^l} \left\{ w_0^T \left(L_w^T P(0) L_w - \gamma^2 E \right) w_0 \right\}.$$

Оскільки шукане керування повинне задовольняти умову

$$\inf_{v \in L_2^m(0,T)} \sup_{w \in \Omega_{l,r}} J_\gamma(v,w) \le 0, \tag{31}$$

то з (30) маємо $\sup_{w_0 \in R^l} \left\{ w_0^T \left(L_w^T P(0) L_w - \gamma^2 E \right) w_0 \right\} \le 0$. Ця нерівність справедлива тільки при виконанні умови

$$L_w^T P(0) L_w - \gamma^2 E \le 0, \tag{32}$$

тобто матриця $L_w^T P(0) L_w - \gamma^2 E$ повинна бути від'ємно визначеною. В іншому випадку, як нескладно показати $\sup_{w_0 \in R^l} \left\{ w_0^T \left(L_w^T P(0) L_w - \gamma^2 E \right) w_0 \right\} = \infty$, що суперечить умові (18).

Відзначимо також, що при виконанні умови (32) $\sup_{w_0 \in R^l} \left\{ w_0^T \left(L_w^T P(0) L_w - \gamma^2 E \right) w_0 \right\} = 0$ і досягається при значенні $w_0^* = 0$.

Висновки: У даній роботі запропонований розв'язок задачі побудови оптимального робастного керування лінійною системою, що знаходиться під впливом збурень невідомої природи, які проте належать до обмеженої області у вигляді заданого еліпсоїда. Отримано одно параметричне сімейство мінімаксних регуляторів, при яких заданий критерій не перевищує деякого граничного значення, що забезпечує їхню робастність. Оптимальне мінімаксне керування знаходиться шляхом пошуку мінімально допустимого порогового значення функціоналу за допомогою чисельних ітераційних методів.

Список літератури

1. Поляк Б. Т.Вероятностный подход к робастной устойчивости систем с запаздыванием [Текст] / Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков // Автом. телемех - М.:Наука, 1996,–Вып. 12.– 97–108с.
2. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко, - М.: Наука, 1961.–124–125с.
3. Кац А. М. Определение параметров регулятора по желаемому характеристическому уравнению системы регулирования [Текст] / А. М.Кац, //Автом. телемех – М.:МГТУ, 1955. Вып.3.– 269–270с.
4. Киселев О. Н.Синтез регуляторов низкого порядка по критерию H_∞ и по критерию максимальной робастности [Текст] / О. Н. Киселев, Б. Т. Поляк // Автом. телемех – М.:МГТУ, 1999 – Вып.3– 113–115с.
5. Шайхет Л. Е. Устойчивость по вероятности нелинейных стохастических систем с запаздыванием [Текст] / Л. Е. Шайхет // Математические заметки. 1995. Т. 57, Вып.1.– 142–146с.
6. Афанасьев В.Н. Аналитическое конструирование детерминированных непрерывных систем управления [Текст] : Учеб.пособие / В.Н. Афанасьев – М.:МГИЭМ, 2003–88–89с.

Boris Goncharenko
National University of Food Technologies
Larisa Vihrova
Kirogradsky National Technical University

Algorithm for optimal synthesis of robust controllers

The problem of construction optimal robust control as a feedback connection from the state of linear dynamic system, which minimizes the integral square functional under the most adverse perturbations of the system is considered. Received the one-parameter familyof minimax controllers vor which a given criterion does not exeed a certain limit.

Minimax optimal control sought by searching the minimum threshold functionality using numerical iterative methods.

optimization problem, robustness, the synthesis of robust controller, Riccati equation, the Hamiltonian, connected to the system, the criterion task

Одержано 15.03.14