



PARAMETRIK NOANIQLIK SHAROITIDA DINAMIK OBYEKT LARNI ADAPTIV-MODAL BOSHQARISH TIZIMLARI TAHLILI

Oqila Boeva ^[0000-0001-8176-6806], *Mokhinur Akhmadova* ^[0009-0002-5047-2439]

Boyeva O.H. – PhD, dotsent, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, **Axmadova M.** – magistrant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, E_mail: Mokhinuraxmadova5@gmail.com

Annotatsiya. Adaptiv-modal boshqarish tizimlari parametrik noaniqlikka ega dinamik obyektlarni boshqarishda muhim rol o'ynaydi. Bunday tizimlar o'zgaruvchan sharoitlarga moslasha olishi va parametrlarning noaniqligi tufayli yuzaga keladigan xatoliklarni minimallashtirish imkonini beradi. Ushbu maqolada, parametrik noaniqlikka ega dinamik obyektlarni adaptiv-modal boshqarishning muntazam sintezlash algoritmlarini ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy asoslar tahlil qilinadi. Algoritmlar dinamik tizimlarning modellari va ularning boshqarish parametrlari orasidagi munosabatlarni o'rganishga asoslanadi. Parametrlarni real vaqt rejimida aniqlab, boshqarish qonunlarini moslashtiradi, shu bilan tizimning barqarorligini va ishlash samaradorligini ta'minlaydi. Tadqiqot natijalari, texnologik jarayonlar, robototexnika va avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlari kabi turli sohalarda qo'llanilishi mumkin bo'lgan yuqori aniqlikdagi boshqarish algoritmlarini ishlab chiqishga yordam beradi. Buning natijasida, parametrik noaniqlik sharoitida ishlashni talab qiladigan tizimlar uchun ishonchli va moslashuvchan boshqarish yechimlari taklif etiladi.

Kalit so'zlar: adaptiv boshqarish, modal boshqarish, parametrik noaniqlik, dinamik obyektlar, sintezlash algoritmlari, muntazam sintezlash, real vaqt rejimi, barqarorlik, boshqarish tizimlari, moslashuvchan boshqarish.

Аннотация. Адаптивно-модальные системы управления играют важную роль в управлении динамическими объектами с параметрической неопределенностью. Такие системы позволяют адаптироваться к изменяющимся условиям и минимизировать ошибки, возникающие из-за неопределенности параметров. В данной исследовательской работе анализируются научные основы, направленные на разработку алгоритмов систематического синтеза адаптивно-модального управления динамическими объектами с параметрической неопределенностью. Алгоритмы основаны на изучении взаимосвязей между моделями динамических систем и их параметрами управления. Определяя параметры в режиме реального времени, он корректирует законы управления, тем самым обеспечивая стабильность и эффективность работы системы. Результаты исследований способствуют разработке высокоточных алгоритмов управления, которые могут применяться в различных областях, таких как технологические процессы, робототехника и автоматизированные системы управления. В результате предлагаются надежные и гибкие управленческие решения для систем, требующих работы в условиях параметрической неопределенности.

Ключевые слова: адаптивный контроль, модальный контроль, параметрическая неопределенность, динамические объекты, алгоритмы синтеза, регулярный синтез, режим реального времени, стабильность, системы управления, адаптивный контроль.

Annotation. Adaptive-modal control systems play an important role in the management of dynamic objects with parametric uncertainty. Such systems can adapt to changing conditions and allow minimizing errors caused by parameter uncertainty. In this research work, scientific foundations are analyzed aimed at developing regular synthesis algorithms for adaptive-modal control of dynamic objects with parametric uncertainty. Algorithms are based on the study of the relationships between models of dynamical systems and their control parameters. Real-time detection of parameters adjusts control laws, thereby ensuring system stability and performance efficiency. The results of the study help to develop high-precision control algorithms that can be applied in various fields, such as technological processes, robotics and automated control systems. Thanks to this, reliable and flexible management solutions are offered for systems that require operation under conditions of parametric uncertainty.

Keywords: adaptive control, modal control, parametric uncertainty, dynamic objects, synthesis algorithms, regular synthesis, real-time mode, stability, control systems, adaptive control.



Kirish

Zamonaviy texnologik jarayonlar, robototexnika va avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlarida dinamik obyektlarning parametrik noaniqligi bilan bog'liq muammolar tobora dolzarb bo'lib bormoqda [1,2]. Bunday tizimlar uchun an'anaviy boshqarish usullari ko'pincha yetarli emas, chunki ular statik va oldindan ma'lum parametrlar asosida ishlashga mo'ljallangan [3]. Shu sababli, parametrik noaniqlik sharoitida tizimlarning samarali ishlashini ta'minlaydigan adaptiv-modal boshqarish tizimlarini ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega [4].

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi parametrik noaniqlikka ega dinamik obyektlarni boshqarish uchun adaptiv-modal boshqarishning muntazam sintezlash algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat. Bunday algoritmlar dinamik obyektlarning parametrlarini real vaqt rejimida aniqlab, boshqarish qonunlarini moslashtirish orqali tizimning barqarorligini va ishlash samaradorligini ta'minlaydi. Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan algoritmlar texnologik jarayonlar, robototexnika va boshqa avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlarida qo'llanishi mumkin bo'lgan yuqori aniqlikdagi boshqarish yechimlarini taqdim etadi. Bu yechimlar, o'z navbatida, parametrik noaniqlik sharoitida ishlashni talab qiladigan tizimlar uchun ishonchli va moslashuvchan boshqarish imkoniyatlarini yaratadi [5].

Usul va uslubiyatlar

Ushbu tadqiqot parametrik noaniqlikka ega dinamik obyektlarni boshqarish uchun adaptiv-modal boshqarish tizimlarini ishlab chiqish metodologiyasi quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:



1-rasm. Adaptiv-modal boshqarish tizimlarini ishlab chiqish metodologiyasi.



Ushbu metodologiya yordamida ishlab chiqilgan adaptiv-modal boshqarish tizimlari parametrik noaniqlik sharoitida yuqori samaradorlik va ishonchlilikka ega boshqarish yechimlarini taqdim etadi. Bu yechimlar turli sohalarida, xususan, texnologik jarayonlar va avtomatlashtirilgan tizimlarda keng qo'llanilishi mumkin [6].

Ko'rilayotgan masalani yechish algoritmlarini amalga oshirishda shunday vaziyatlar buladiki, kuzatuvlarning matrisalari model parametrlarini baholash uchun yomon shartlangan bo'lishi mumkin. Bu holat muntazamlash usullarini qo'llashni taqazo etadi. Ob'yektning noaniq stoxastik modelidagi dinamika va boshqarish matrisalarini hisoblashni muntazam algoritmini keltiramiz. Xolatlar fazosida vektorli tenglama bilan ifodalangan ko'p o'lchamli noanik dinamik sistemani (1) ko'rib chiqamiz [7]:

$$X_k = Ax_{k-1} + Bu_k + \xi_k, \quad k = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

bu yerda $X_k \in R^n$ —sistema xolatining tasodifiy vektori; $u_k \in R^m$ —boshqarish ta'sirlarining vektori; A va B — mos ravishda $n \times n$ va $n \times m$ o'lchamli sistemaning noma'lum parametrlari matrisalari $w_k \in R^n$, $v_k \in R^m$ — o'zaro mustaqil oq shovqinli gaussli ketma-ketliklar, bunda barcha i, k lar uchun $M\{w_k\} = M\{v_k\} = 0$, $M\{w_k w_k^T\} = I_n$, $M\{v_k v_k^T\} = I_m$, $M\{w_1 w_k^T\}^T = \delta_{ik} Q$, $M\{v_1 v_k^T\}^T = \delta_{ik} R$, o'rinli. formulaga asosan A va B matrisalarni baholash uchun quyidagi tenglamani yozamiz: $Z_N^T Z_N [A \ B] = Z_N^T X_N$, bu yerda

$$Z_N^T Z_N = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N x_{k-1} x_{k-1}^T & \sum_{k=1}^N x_{k-1} u_k^T \\ \sum_{k=1}^N u_k x_{k-1}^T & \sum_{k=1}^N u_k u_k^T \end{bmatrix}, \quad X_N Z_N^T = \left[\sum_{k=1}^N x_k x_{k-1}^T, \sum_{k=1}^N x_k u_k^T \right], \quad (2)$$

[A, B] ni bahosi sifatida quyidagi yechimni olamiz:

$$[\hat{A}, \hat{B}] = (Z_N^T Z_N)^+ Z_N^T X_N = Z_N^+ X_N$$

uning me'yori minimal bo'ladi $\|\hat{A}, \hat{B}\| = \sqrt{\text{tr}(A^T A + B^T B)}$. Agar $Z_N^T Z_N$ matrisa u xolda qurilayotgan masala nokorrekt quyilgan hisoblanadi. (2) ifodadagi $Z_N^T Z_N$ matrisani psevdoo'zgartirish uchun $Z_N^T Z_N$ matrisani bloklarga ajratish amalidan foydalanamiz:

$$Z_N Z_N^T = \begin{bmatrix} R & U \\ U^T & S \end{bmatrix}, \quad R = \sum_{k=1}^N x_{k-1} x_{k-1}^T, \quad U = \sum_{k=1}^N x_{k-1} u_k^T, \quad S = \sum_{k=1}^N u_k u_k^T \quad (3)$$

(1) ifodadagi R buzilmagan kvadratli matritsa bo'lsin.

U holda

$$(Z_N^T Z_N)^+ = \begin{bmatrix} R \\ U^T \end{bmatrix} (RR^T + UU^T)^{-1} R (R^T R + UU^T)^{-1} (R^T U).$$

O'zgartirish raqamlari algoritmi (3) ni amalga oshirishda ko'proq turg'unlikka erishish uchun quyidagi ifodadan foydalanamiz:

$$(Z_N^T Z_N)^+ = \begin{bmatrix} R \\ U^T \end{bmatrix} g_\alpha(P) R g_\beta(D) (R^T U), \quad (4)$$

bu yerda $P = (RR^T + UU^T)$, $D = (R^T R + UU^T)$, $g_\alpha(P) = (P + \alpha I)^{-1}$, $g_\beta(D) = (D + \beta I)^{-1}$,

(4) ifodadagi α va β muntazamlashtirish parametrlarini tanlashda modeli misollar usuli asosida amalga oshirish maqsadga muvofiq. G'alayonlar vektorining empirik kovariatsiyali matrisasini A va B baholar asosida quyidagicha xisoblab topish mumkin. (4) ifodadagi α va β muntazamlashtirish parametrlarini tanlashda modeli misollar usuli asosida amalga oshirish maksadga muvofik. Falayonlar vektorining empirik kovariatsiyali matrisasini A va B baholar asosida quyidagicha hisoblab topish mumkin.

$$\hat{Q} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \hat{A}x_{k-1} - \hat{B}u_k)(x_k - \hat{A}x_{k-1} - \hat{B}u_k)^T$$

Keltirilgan algoritmlar noanik dinamik sistemalardagi parametrlar matrisalari va galayonlar vektorining kovariatsiyalarini turgun baxolash imkonini beradi va shu bilan birga adaptiv boshqarish sistemasining aniqligini oshiradi [8].

Adaptiv boshqarish sistemalarining sinflari ichida amalda maxsuldori etalon modeli bilvosita adaptiv boshqarish prinsipiga asoslangan. Bu o'z navbatida, ichki konturning



parametrlarini identifikatsiyalashga va statik algoritmlar yordamida rostlagich parametrlarini qayta ko'rishga asoslanadi.

Faraz qilamiz, boshqarish ob'yekda (1) ning parametrlari A va B quyidagi kurinishga ega: $A = A^0 + A_k$, $B = B^0 + B_k$, bunda A^0 , B^0 - parametrlarning etalon qiymatlari, ular ishtirok etganda va parametrik g'alayonlar bo'lmaganda ob'yekt zaruriy o'tish tavsiflariga ega bo'ladi; A_k , B_k - ob'ektning g'alayonlangan parametrlarining kvazistasionar noma'lum matrisasi. Yuqori pog'onada moslashtiruvchi algoritmlar sifatida ichki konturning parametrik nomuvofiqligiga oid oraliq matrisalarni hisoblab topuvchi ma'lum algoritmlardan foydalaniladi [9,10].

Quyidagi pog'onani moslashtirish algoritmlari:

$$B^0 R_{1,k} = A_k, \quad (5)$$

$$B^0 R_{2,k} = B_k, \quad (6)$$

bu yerda R_{1k} , R_{2k} — ichki konturning to'g'ri va teskari alokaparining sozlash parametrlari matrisalari. (5) va (6) tenglamalarda B^0 matrisa yomon shartlangan bo'lishi mumkin. Quyida (5) tenglamani yechishning muntazam algoritmi keltirilgan. Shu algoritmdan foydalanib, (6) tenglamani ham yechish mumkin. (5) sistemani yechish uchun eng kichik kvadratlar usulidan foydalanish maqsadga muvofiq.

Xulosa

Ushbu maqola, o'zgaruvchan sharoitlarga moslasha oladigan va parametrlarning noaniqligi tufayli yuzaga keladigan xatoliklarni minimallashtiradigan tizimlarni yaratishning muhimligini ko'rsatadi. Tadqiqotning asosiy maqsadi parametrik noaniqlik sharoitida dinamik obyektlarni boshqarish uchun adaptiv-modal boshqarish tizimlarini sintezlashga qaratilgan algoritmlarni ishlab chiqishdir. Bu algoritmlar tizim parametrlarini real vaqt rejimida aniqlab, boshqarish qonunlarini moslashtiradi, shu bilan tizimning barqarorligi va ishlash samaradorligini ta'minlaydi. Algoritmlar texnologik jarayonlar, robototexnika va avtomatlashtirilgan boshqarish tizimlarida qo'llanishi mumkin bo'lgan yuqori aniqlikdagi boshqarish yechimlarini taqdim etadi.

Olib borilgan tadqiqot ishida quyidagi metodologiyalar o'rganilib chiqilgan:

1. Tizim va modelni tanlash bo'yicha, dinamik obyektlarning matematik modellari tanlanib, parametrlarning noaniqlik darajasi tahlil qilindi.
2. Adaptiv boshqarish qonunlarini ishlab chiqish, real vaqt rejimida ishlaydigan adaptiv boshqarish algoritmlari tahlil qilinib, kalman filtri va lyapunov funksiyasi yordamida tizim barqarorligi ta'minlandi.
3. Modal boshqarish strategiyalari: modal boshqarish usullari yordamida tizimning dinamik xususiyatlari kuzatilib, moslashtirildi.
4. Sintezlash algoritmlarini ishlab chiqish: parametrik noaniqlikni hisobga olib, tizimning optimal boshqarish qonunlarini hosil qiluvchi adaptiv-modal boshqarish algoritmlari ishlab chiqildi.
5. Tajriba va tekshirish: algoritmlar kompyuter simulyatsiyalari yordamida sinovdan o'tkazildi va natijalari baholandi.

Tadqiqotning muhim jihatlaridan biri parametrik noaniqlik sharoitida adaptiv boshqarish tizimlarining barqarorligini va samaradorligini ta'minlashdir. Tadqiqot natijalari ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan algoritmlar parametrlarni turg'un baholash va moslashuvchan boshqarish tizimlarini yaratishda samarali bo'lib, turli sohalarda keng qo'llanilishi mumkin. Bu yechimlar parametrik noaniqlik sharoitida ishlashni talab qiladigan tizimlar uchun ishonchli va moslashuvchan boshqarish imkoniyatlarini taqdim etadi.



- [1.] Sevinov J.U., Boeva O.H. Adaptive pole placement algorithms for of non-minimum-phase stochastic systems // International scientific and technical journal "Chemical technology. Control and management". Tashkent. 2020. № 5-6. –pp. 38-43. (05.00.00; №12)
- [2.] Боева О.Х. Разработка прямых алгоритмов модального управления во много-входных линейных системах // Научно-технический журнал «Развитие науки и технологий». Бухара. 2020, №5. –С. 120-129. (05.00.00; №24)
- [3.] Igamberdiev H.Z., Sevinov J.U., Boeva O.H. Algorithms for modal control synthesis in multi-dimensional dynamic system // Chemical Technology, Control and Management. Tashkent. Volume 2021, Issue 5, Article 7. –pp. 45-51. DOI: <https://doi.org/10.51346/tstu-02.21.5-77-0040>. (05.00.00; №12)
- [4.] Boyeva O.H., Izomov J.A. Algorithms of steady calculation of the vector of parameters of the regulator in linear systems on the basis of modal management // Scientific and methodical journal publishing house "Problems of Science" -Moscow. 2017, №40. –pp. 36-40.
- [5.] Boeva O.H., Nomozova M.H. Modal analysis of dynamic systems / XXXIV International Scientific and Practical Conference "Research and Development 2018". Moscow, March 23, 2018. –pp. 51-53.
- [6.] Боева О.Х. Устойчивое вычисление параметров регулятора в линейных системах на основе модального управления / Международная научная конференция «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства». Бухара.14-16 ноября, 2019. - С.250-253.
- [7.] Севинов Ж.У., Боева О.Х. Оптимизированный псевдо-обратный алгоритм для идентификации многовходных модальных параметров с несколькими выходами / Республиканская научно-техническая конференция «Роль информационных систем и технологий в современном обществе». Наманган. 30-31 марта 2021 г. -С. 40-43.
- [8.] Севинов Ж.У., Боева О.Х. Алгоритмы определения размещения полюсов в многомерных системах с пропорционально-дифференциальной обратной связью по выходу / Республиканская научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы применения цифровых технологий и искусственного интеллекта в управлении». Ташкент. 6-7 сентября, 2021. -С.307-314.
- [9.] Sevinov J.U., Boeva O.H. Synthesis Algorithms for Adaptive-Modal Control Systems for Technological Objects With Delays // AIP Conference Proceedings, 2647, 030007 (2022), <https://doi.org/10.1063/5.0104891>.
- [10.] Боева О.Х. Кўп ўлчамли динамик тизимларни модал бошқариш ва уларнинг хусусиятлари / «Ёш математикларнинг янги теоремалари – 2022» мавзусидаги Республика илмий анжумани. Наманган. 13-14 май, 2022. -280-282 б.