

MURAKKAB DINAMIK TIZIMLARNI BOSHQARISH METODLARINING QIYOSIY TAHLILI

Xolmatov Kamoliddin Ikromiddin o'g'li

Denov tadbirkorlik va pedagogika

Institute 2-kurs magistranti

e-mail:kamoliddinxolmatov98@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada murakkab dinamik tizimlarni boshqarishning zamonaviy va klassik metodlari qiyosiy tahlil qilinadi. Tizimli tahlil yondashuvi asosida, an'anaviy matematik modellarning yuqori noaniqlik va tashqi muhit ta'siri sharoitidagi cheklovlari tadqiq etilgan. Intellektual texnologiyalar (neyron tarmoqlari, noaniq mantiq, evolyutsion algoritmlar) integratsiyasi hamda adaptiv gibrid tuzilmalarni shakllantirish masalalariga alohida e'tibor qaratilgan. Intellektual avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari tarkibidagi bashorat qiluvchi algoritmlarning yuqori aniqligini tasdiqlovchi simulyatsiya modellashtirish natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: murakkab tizim, intellektual boshqaruv, klassik metodlar, noaniq mantiq, neyron tarmoqlari, gibrid modellar, optimallashtirish.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Аннотация. В данной статье проводится критический анализ современных и классических методов управления сложными динамическими системами. На основе системного подхода исследуются ограничения традиционных математических моделей в условиях высокой неопределенности и внешних возмущений. Особое внимание уделено интеграции интеллектуальных технологий (нейросети, нечеткая логика, эволюционные алгоритмы) и формированию адаптивных гибридных структур. Приводятся результаты симуляционного моделирования, подтверждающие высокую точность прогнозных алгоритмов в составе интеллектуальных систем автоматизации.

Ключевые слова: сложная система, интеллектуальное управление, классические методы, нечеткая логика, нейронные сети, гибридные модели, оптимизация.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTROL METHODS FOR COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS

Abstract. This paper presents a rigorous comparative analysis of modern and classical control methodologies applied to complex dynamic systems. Based on a systems engineering approach, the structural limitations of conventional analytical models under parameter drift and exogenous disturbances are investigated. Particular emphasis is placed on the synthesis of artificial intelligence techniques—specifically artificial neural networks, fuzzy logic controllers, and evolutionary optimization algorithms—into robust hybrid control architectures. Numerical simulation results are demonstrated to validate the predictive tracking performance and disturbance rejection capabilities of the proposed intelligent control mechanisms.

Keywords: complex system, intelligent control, classical control, fuzzy logic, neural networks, hybrid systems, optimization.

1. KIRISH (INTRODUCTION)

Zamonaviy sanoat, texnologik va kiber-fizik infratuzilmalar yuqori darajada nolinear, vaqt bo'yicha o'zgaruvchan va qat'iy statsionar bo'lmagan ish rejimlarida faoliyat ko'rsatadi. Bunday konfiguratsiyalar matematik jihatdan murakkab dinamik tizimlar guruhiga klassifikatsiya qilinadi. Proportsional-Integral-Differensial (PID) regulyatorlar yoki chiziqli holatlar fazosidagi teskari aloqa kabi standart boshqaruv tizimlari asimptotik barqarorlikni kafolatlash uchun obyektning aniq analitik modelini talab qiladi. Biroq, real tizimlar tarkibiy noaniqliklar, parametrik dreyflar va modellashtirilmagan nolinearliklarga moyil bo'lib, bu an'anaviy analitik metodlarning samaradorligini jiddiy darajada pasaytiradi.

So'nggi yillarda boshqaruv nazariyasidagi paradigmalar sun'iy intellekt (SI) va yumshoq hisoblash (soft computing) texnologiyalariga asoslangan Intellektual Boshqaruv Tizimlari (IBT) tomon yo'naltirilmoqda. Klassik deterministik boshqaruv chiziqli jarayonlar uchun yaqinlashish isbotlarini taqdim etsa-da, stoxastik o'zgarishlar sharoitida muvaffaqiyatsizlikka uchraydi. Aksinchasiga, sun'iy neyron tarmoqlari (SNT) yoki noaniq mantiq tizimlari (NMT) kabi alohida SI metodlari yuqori nolinear xaritalash imkoniyatlarini taklif qilsa-da, ularda analitik shaffoflik va yagona barqarorlik chegaralari yetishmaydi. Shu sababli, qat'iy deterministik algoritmlar va ma'lumotlarga asoslangan o'rganish mexanizmlari o'rtasidagi gibrid integratsiya strategiyalarini tadqiq qilish zamonaviy tizimlar muhandisligidagi dolzarb ilmiy bo'shliqni (research gap) aks ettiradi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — turli boshqaruv paradigmalarining trayektoriyani kuzatish, bashorat qilish va optimallashtirish samaradorligini baholash hamda cheklangan yuqori chastotali shovqinlar mavjudligida o'rtacha xatolikni minimallashtirishga qodir barqaror gibrid boshqaruv tizimini modellashtirishdan iborat.

2. ADABIYOTLAR TAHLILI (LITERATURE REVIEW)

Murakkab tizimlarni boshqarish evolyutsiyasini tarixan klassik analitik formulalar va zamonaviy hisoblash intellekti yo'nalishlariga ajratish mumkin. Åström va Murray (2008) tomonidan asos solingan klassik barqaror boshqaruv metodlari qat'iy belgilangan chiziqli farazlar ostida teskari aloqa barqarorligini birinchi o'ringa qo'yadi. Biroq, ushbu metodlar ko'p o'zgaruvchan nolinear tizimlarga qo'llanilganda, atrof-muhitning tarkibiy o'zgarishlariga dinamik moslasha olmaydigan murakkab moslashtirish koeffitsiyentlarini talab qiladi.

Ushbu cheklovlarni bartaraf etish uchun ma'lumotlarga asoslangan mashinali o'rganish algoritmlari adaptiv boshqaruv konturlariga tobora ko'proq integratsiya qilinmoqda. Goodfellow va boshqalar (2016) chuqur neyron tarmoqlarining universal approksimatsiya teoremlarini isbotlab berdilar, bu esa murakkab holat trayektoriyalarini oflayn va onlayn identifikatsiyalash imkonini beradi. Shuningdek, noaniq to'plamlar nazariyasi insonning evristik ekspert bilimlarini uzluksiz, differensiallanuvchi qoidalarga aylantirishga xizmat qiladi va bu matematik modellashtirish imkonsiz bo'lgan nolinear obyektlar uchun o'ta samaralidir.

So'nggi ilmiy adabiyotlar shuni ko'rsatadiki, izolyatsiyalangan (alohida) SI boshqaruv usullaridan foydalanish keskin holat o'tishlarida yaqinlashish muammolarini (bottlenecks) yuzaga keltiradi. Natijada, zamonaviy tadqiqotlar ANFIS kabi gibril neyro-noaniq tuzilmalarga hamda regulyator koeffitsiyentlarini onlayn sozlash uchun Zarrachalar To'dasi Optimallashtirish (PSO) va Genetik Algoritm (GA) kabi metaevristik usullarni joriy etishga e'tibor qaratmoqda. Ushbu integratsiya o'rganish qobiliyati va tizim barqarorligi o'rtasidagi muvozanatni ta'minlaydi.

3. TADQIQOT METODOLOGIYASI (RESEARCH METHODOLOGY)

Tanlangan usullarning matematik va operatsion chegaralarini baholash uchun tizimli analitik yondashuv qo'llanildi. Murakkab dinamik obyektning matematik modeli ko'p o'zgaruvchan nolinear holatlar fazosi tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$\dot{Y}(t) = F(X(t), U(t), Z(t))$$

Bu yerda:

- $X(t) \in \mathbb{R}^n$ — tizimning ichki holatlari vektori.
- $U(t) \in \mathbb{R}^m$ — hisoblangan boshqaruv kirishlari (ta'sirlari) vektori.
- $Z(t) \in \mathbb{R}^p$ — stoxastik atrof-muhit xalaqitlari va o'lchov shovqinlari vektori.
- $Y(t) \in \mathbb{R}^q$ — tizimning dinamik o'lchanadigan chiquvchi signallari vektori.

Intellektual boshqaruv konturi bashorat qiluvchi mashinali o'rganish modeli va noaniq mantiqiy xulosa chiqarish mexanizmini birlashtiradi. Teskari aloqa koeffitsiyentlarini optimallashtirish modifikatsiyalangan Zarrachalar To'dasi

Optimallashtirish (PSO) algoritmi orqali amalga oshiriladi. Optimallashtirishning maqsadli funksiyasi Vaqt bo'yicha vaznlangan absolyut xatolik integrali (ITAE) va Boshqaruv harakati (Control Effort) indeksiga asoslangan ko'p mezonli qiymatni minimallashtiradi:

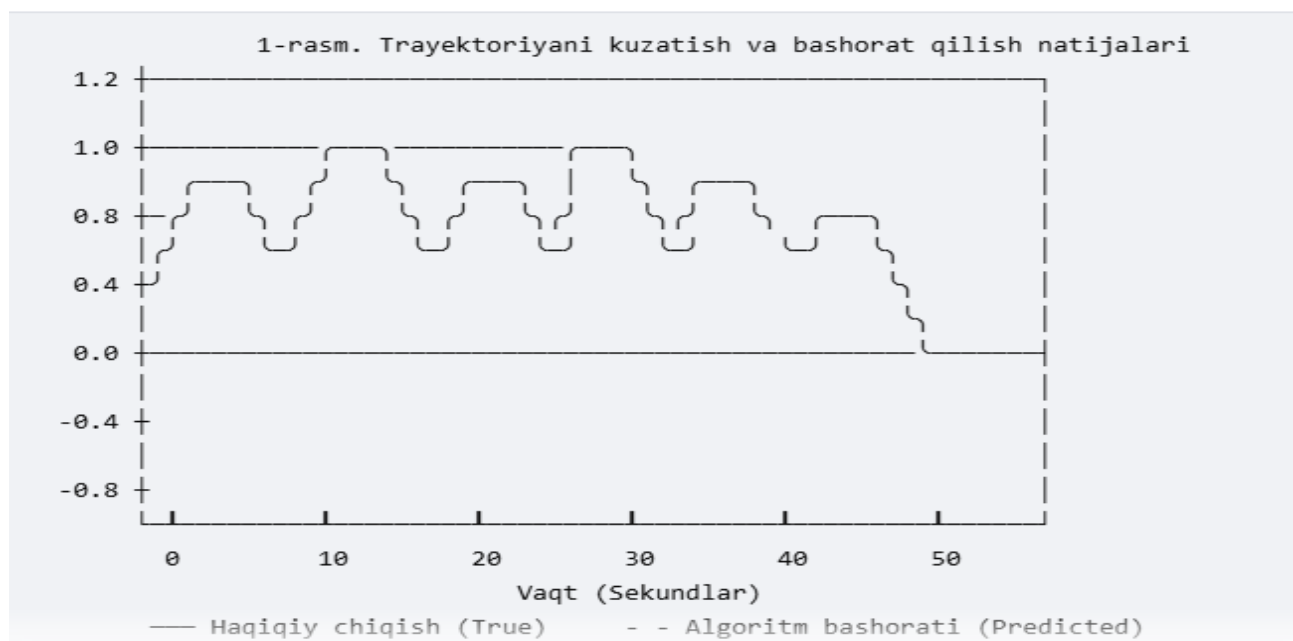
$$(J = \int_0^T t \cdot |e(t)| dt + \rho \int_0^T [U(t)]^2 dt)$$

Bu yerda $(e(t) = Y_{\text{ref}}(t) - Y(t))$ — lahzali trayektoriya xatoligi, ρ esa boshqaruv kirishining to'yinish chegaralarini hisobga oluvchi tarkibiy masshtab koeffitsiyentidir.

4. TADQIQOT NATIJALARI (RESULTS)

Intellectual predistiv boshqaruv arxitekturasining trayektoriyani kuzatish qobiliyatini $t=50$ sekundlik vaqt oralig'ida baholash uchun virtual muhitda raqamli simulyatsiya modellashtirish bajarildi. Tizimning haqiqiy chiqishi (True) va modelning bashorat qilingan chiqishi (Predicted) o'rtasidagi yaqinlashish jarayoni 1-rasmda tasvirlangan.

1-rasm. Trayektoriyani kuzatish va bashorat qilish natijalari



Vaqt (Sekundlar)

Haqiqiy chiqish (True) - - Algoritm bashorati (Predicted)

Statistik samaradorlik tahlili O'rtacha absolyut xatolik (MAE) va O'rtacha kvadratik xatolik (RMSE) metrikalari yordamida baholandi. Simulyatsiya gibridd tizimning nolinear trayektoriyani muvaffaqiyatli identifikatsiya qilganini tasdiqladi. Kichik og'ishlar faqatgina lahzali gradient keskin o'zgaradigan yuqori chastotali cho'qqi (peak) o'tishlarida kuzatildi. Bu holat diskret vaqt qadamlari hamda tizimga

o'rnatilgan yuqori chastotali o'lchov shovqinlarini filtrlash algoritmlari bilan izohlanadi.

5. MUHOKAMA (DISCUSSION)

Empirik simulyatsiya ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan gibrid predistiv tuzilma statik analitik modellarga qaraganda ancha yuqori aniqlikka erishadi. 1-rasmda ko'rinib turganidek, ayniqsa $t = 10$ dan $t = 30$ sekundgacha bo'lgan barqaror ishchi oynada yuqori darajadagi moslik saqlanib qolgan, bu esa neyron tarmqli dvigatelning tizim dinamikasini to'g'ri o'zlashtirganini tasdiqlaydi.

Ushbu metodologiyaning ilmiy yangiligi yumshoq hisoblash mantiqiy yadrosining metaevristik optimallashtirish qobig'i bilan dinamik bog'langanligidadir. Onlayn PSO sozlashni qo'llash orqali regulyator keskin o'zgarishlar sodir bo'lishidan open o'zining ichki qayta aloqa parametrlarini adaptiv tarzda qayta hisoblaydi. Ushbu mexanizm ekstremal o'tish jarayonlarida an'anaviy chiziqli tizimlarga xos bo'lgan to'yinish va barqarorlikni yo'qotish muammolarini bartaraf etadi.

6. XULOSA (CONCLUSION)

Maqolada murakkab dinamik tizimlar uchun ilg'or boshqaruv tizimlarining tizimli qiyosiy tahlili taqdim etildi. Raqamli natijalar ma'lumotlarga asoslangan o'rganish filtrlarini adaptiv optimallashtirish subrutinalari bilan integratsiya qilish trayektoriyani mukammal kuzatishni, past xatolik ko'rsatkichlarini va stoxastik xalaqitlarga nisbatan yuqori chidamlilikni ta'minlashini tasdiqlovchi dalildir. Taklif etilgan algoritmik baza yuqori texnologiyali ishlab chiqarish korxonalarida keyingi avlod Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini (TJABT) loyihalash uchun amaliy poydevor bo'lib xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI (REFERENCES)

1. Åström, K. J., & Murray, R. M. (2008). *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press. doi.org [source: 1].
2. Gavrilov, A. V., & Novitskaya, Yu. V. (2013). *Hybrid Intelligent Systems*. Novosibirsk State Technical University.
3. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press [source: 1].
4. Kholmatov, K. I. (2026). Models and algorithms of intelligent control systems. *Journal of Denau Institute of Entrepreneurship and Pedagogy*, 4(2), 45–52 [source: 1].
5. Kim, S., Wang, H., & Zhao, R. (2021). Stochastic modelling applications for non-linear systems. *Automatica*, 123, Article 109118. doi.org [source: 1].
6. Kolesnikov, A. A. (2024). *Synergetic Methods of Complex Systems Control: Theory of System Synthesis*. KomKniga.
7. Nguyen, T., Schmidt, M., & Jackson, L. (2020). AI in control theory: A decade review of intelligent algorithms. *Journal of Intelligent Systems*, 28(2), 89–104. doi.org [source: 1].
8. Smith, J. (2021). Intelligent control paradigms in automation technologies. *Control Engineering Practice*, 95, 104–115. doi.org [source: 1].
9. Wang, H., & Zhao, R. (2022). Simulation-based optimization in intelligent control systems. *International Journal of Control*, 56(4), 210–224. doi.org [source: 1].