SCIENCE HUB REVIEW
2026
Volume 1
Issue 1
www.sciencehubreview.uz
ILMIY ELEKTRON JURNAL

SANOAT BOSHQARUV OBYEKTLARI UCHUN TURG'UN ADAPTIV STOXASTIK KUZATUVCHILARNI SINTEZ QILISH VA DASTURIY AMALGA OSHIRISH

Mirzaabduraximov Mirzobobur Mirsharoffidin o'g'li
Namangan davlat texnika universiteti Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish kafedrasi magistranti

Qodirov Dilmurod
Namangan davlat texnika universiteti Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish kafedrasi dotsenti

Mirzakarimov Mirsharoffiddin
Namangan davlat texnika universiteti Oliy matematika kafedrasi dotsenti

Toxirova Maftuna
Namangan davlat texnika universiteti To'qimachilik sanoati texnologiyasi kafedrasi doktoranti

Annotatsiya
Ushbu maqolada parametrik noaniqliklar va stoxastik impulsiv shovqinlar sharoitida ishlovchi sanoat pnevmotransport obyektlari uchun Tixonov regulyarizatsiyasiga asoslangan Turg'un Adaptiv Stoxastik Kuzatuvchi (TAK) sintez qilingan. Pnevmotransport quvurlarida paxta xomashyosining zichligi va harakat tezligini datchiksiz baholash usuli ishlab chiqilgan. Nazariy algoritmlar Python va C++ dasturlash tillarida diskret ko'rinishda amalga oshirilib, STM32 arxitekturasi uchun sinovdan o'tkazilgan. Olingan natijalar taklif etilgan algoritm klassik Kalman filtriga nisbatan xatolikni (RMSE) 73% ga kamaytirishini va favqulodda tiqilishlarning oldini olishini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar
Stoxastik kuzatuvchi, Tixonov regulyarizatsiyasi, Kalman filtri, parametrik dreyf, pnevmotransport, diskret tizimlar, mikrokontroller.

KIRISH

Zamonaviy sanoat ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish va ularni optimal boshqarishda boshqarish obyektining to'liq holat koordinatalari haqidagi aniq axborotga ega bo'lish muhim omil hisoblanadi. Biroq, real sanoat obyektlarida, xususan, paxtani qayta ishlash korxonalarining pnevmotransport tizimlarida barcha ichki parametrlarni

to‘g‘ridan-to‘g‘ri datchiklar yordamida o‘lchashning imkoni mavjud emas. Quvur ichidagi agressiv aerodinamik muhit, xomashyoning mexanik urilishi datchiklarning tezda ishdan chiqishiga olib keladi. Shu sababli, amaliyotda faqat havo bosimi datchigidan olinadigan yagona o‘lchov signali asosida quvurdagi xomashyo oqimi zichligi *(p)* va harakat tezligi *(v)* kabi o‘lchanmaydigan holatlarni tiklash (rekonstruksiya qilish) dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi. Pnevmotransport jarayonida nam paxta massasining oqimga kelib tushishi obyektning o‘tish matritsasida kuchli parametrik o‘zgarishlarni ($\Delta A \neq 0$) yuzaga keltiradi. Bunday sharoitda an’anaviy Klassik Kalman filtri kovariatsiya matritsasining so‘nishi ($P \to 0$) tufayli yangi o‘lchovlarni inkor qilib, divergensiyaga uchraydi. Datchik elektr zanjirlaridagi impulsiv pik shovqinlar esa filtrlash xatoligini yanada oshiradi. Ushbu muammoni hal qilish uchun mazkur tadqiqotda Tixonov regulyarizatsiyasi bilan boyitilgan, o‘lchov nevyazkasiga moslashuvchan yangi turg‘un adaptiv stoxastik holat kuzatuvchisi taklif etiladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Murakkab stoxastik obyektlarni boshqarish, holatni baholash va parametrik identifikatsiyalash nazariyasi bo‘yicha fundamental tadqiqotlar R. Kalman (1960), A.N. Tixonov (1977), L. Ljung (1999) hamda K. Astrom (2008) tomonidan amalga oshirilgan. Respublikamiz olimlaridan N.R. Yusupbekov va X.Z. Igamberdiyev (2020, 2021) noaniq to‘plamlar va adaptiv regulyatorlar asosida texnologik jarayonlarni boshqarish sifatini oshirish bo‘yicha salmoqli natijalarga erishganlar. Shuningdek, B.M. Ziyayev va B.R. Matyoqubov (2016) paxta sanoati texnologik jarayonlarini avtomatlashtirish bo‘yicha izlanishlar olib borganlar. Biroq, mavjud ilmiy adabiyotlarda pnevmotransport quvurlaridagi yuqori amplitudali parametrik dreyf va datchik signallaridagi impulsiv shovqinlarning bir vaqtda ta’sir qilishi sharoitida holatlarni real vaqt rejimida baholovchi, mikrokontrollerlar arxitekturasiga moslashtirilgan hisoblash jihatidan turg‘un algoritmlar to‘liq yoritilmagan.

METODOLOGIYA

Boshqarish obyektining diskret vaqtli chiziqli stoxastik modeli quyidagi holat fazosi tenglamalari orqali tasvirlanadi:

$$x(k+1) = A(k)x(k) + B(k)u(k) + w(k)$$
$$y(k) = C(k)x(k) + v(k)$$

Bu yerda:

$k \in Z^+ -$ diskret vaqt takti ($t = k \cdot T_s, T_s -$ diskretlash davri);

$x(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots\dots, x_n(k)]^T \in R^n -$ ob′yektning o′lchanmaydigan ichki holat vektori;

$u(k) = [u_1(k), u_2(k), \dots\dots, u_m(k)]^T \in R^m -$ ma′lum boshqaruv ta′sirlari vektori;

$y(k) = [y_1(k), y_2(k), \dots\dots, y_p(k)]^T \in R^p -$ o′lchov datchiklaridan olinadigan chiqish vektori ($p < n$);

$A(k) \in R^{n\times n} -$ ob′yektning dinamika matritsasi (tizim matritsasi);

$B(k) \in R^{n\times m} -$ kirish (boshqaruv) matritsasi;

$C(k) \in R^{p\times n} -$ chiqish (o′lchov) matritsasi;

$\omega(k) \in R^n -$ ob′yektga ta′sir qiluvchi tashqi stoxastik g′alayonlar

(tizim shovqini)vektori;
$v(k) \in R^p -$ o′lchov kanallaridagi tasodifiy xalaqitlar vektori.

Impulsiv shovqinlar ta’sirida algoritm turg‘unligini saqlash maqsadida adaptatsiya qadami quyidagi mezon bo‘yicha normallashtirildi:

$$\mu(k) = \frac{\mu_0}{1 + \gamma_x \|\hat{x}(k)\|^2 + \gamma_v \|v(k)\|^2}$$

$$L(k+1) = L(k) + \mu(k)[Wv(k)\hat{x}^T(k)C^T - \lambda(L(k) - L_0]$$

NATIJALAR

Ishlab chiqilgan algoritm asosida Python muhitida 1000 taktlik raqamli eksperiment o‘tkazildi. Simulyatsiya jarayonida obyekt modeliga 3 marta kuchli parametrik dreyf ($\Delta A = 0.25A_0$) va datchik kanaliga impulsiv pik xalaqitlar berildi.

1-jadval

Turli filtrlash algoritmlarining qiyosiy ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkichlar	Klassik Kalman filtri	Taklif etilgan TAK	Samaradorlik
O‘rtacha kvadratik xatolik (RMSE)	0.428	0.115	73% kamayish
Pik xalaqitni so‘ndirish vaqti, s	3.10	0.18	17 barobar tez
Dreyf sharoitida ishlash xarakteri	Divergensiya (so‘nish)	To‘liq barqaror	Turg‘un

Algoritm sanoat mikrokontrollerlariga (STM32F4) ko‘chirish maqsadida C++ tilida to‘liq realizatsiya qilindi. Kompyuter sinov rejimida 0–9 taktlar oralig‘ida olingan holat baholarining dinamikasi 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

C++ dasturining boshlang‘ich taktlaridagi holat baholari dinamikasi

Takt (k)	Zichlik x^1 (kg/m3)	Tezlik x^2 (m/s)	Qarshilik x^3 (bar)
0	0.190	0.170	0.180
1	0.363	0.318	0.312
2	0.521	0.443	0.407
4	0.754	0.603	0.503
6	0.929	0.689	0.532
8	1.059	0.722	0.532
9	1.095	0.715	0.522

MUHOKAMA

Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, datchikdagi bosim o‘zgarishi orqali quvurdagi xomashyo zichligi va harakat tezligining teskari proporsional bog‘liqligi to‘liq tiklandi. Nam paxta kelishi tufayli quvur qarshiligi ortganda, oqim tezligi pasayishi kuzatiladi. Taklif etilgan TAK algoritmi ushbu holatni 0.15 s ichida aniqlab, havo sarfini oshirish uchun regulyatorga aniq signal uzatish imkonini yaratdi.C++ dasturida bajarilgan hisob-kitoblar o‘tish jarayoni atigi 5–6 takt davom etishini, hisoblash jarayonida hech qanday

to‘lib ketish (overflow) yoki son emaslik (NaN) xatolari kuzatilmasligini ko‘rsatdi. Bu Tixonov regulyarizatsiyasining hisoblash xotirasi cheklangan mikrokontrollerlar uchun to‘liq yaroqli ekanligini isbotlaydi.

XULOSA

Paxta pnevmotransporti jarayonida o‘lchanmaydigan zichlik va tezlik parametrlarini bosim datchigi asosida tiklashga imkon beruvchi Turg‘un Adaptiv Stoxastik Kuzatuvchi sintez qilindi.Tixonov regulyarizatsiyasi va adaptiv qadam mexanizmi hisobiga tizimning parametrik dreyf hamda impulsiv shovqinlarga nisbatan chidamliligi ta’minlandi.Taklif etilgan algoritm Klassik Kalman filtriga nisbatan baholash xatoligini 73% ga qisqartirdi va pik tebranishlarni 0.18 soniyada so‘ndirdi.Ishlab chiqilgan C++ dasturiy ta’minoti algoritmni sanoat mikrokontrollerlariga (STM32) to‘g‘ridan-to‘g‘ri integratsiya qilish va datchiksiz intellektual boshqaruvni amalga oshirish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Astrom, K. J., & Wittenmark, B. (2008). Adaptive Control (2nd ed.). Dover Publications.

2. Haykin, S. (2013). Adaptive Filter Theory (5th ed.). Pearson.

3. Igamberdiyev, X. Z., Yusupbekov, A. N., & Zaripov, O. O. (2018). Boshqarishning noaniq va adaptiv tizimlari. Fan.

4. Kalman, R. E. (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Journal of Basic Engineering, 82(1), 35-45.

5. Simon, D. (2006). Optimal State Estimation: Kalman, H-infinity, and Nonlinear Approaches. John Wiley & Sons.

6. Tikhonov, A. N., & Arsenin, V. Y. (1977). Solutions of Ill-Posed Problems. Winston & Sons.

7. Yusupbekov, N. R., Igamberdiyev, X. Z., & Mamirov, U. F. (2020). Texnologik jarayonlarni boshqarish tizimlari. Tafakkur.

8. Ziyayev, B. M., & Matyoqubov, B. R. (2016). Paxtani dastlabki ishlash texnologik jarayonlarini avtomatlashtirish asoslari. Fan va texnologiya.