

## MASOFAVIY ROBOT MANIPULYATORLARNI VR/AR MUHITIDA SAMARALI BOSHQARISHNI DASTURIY YECHIMINI ISHLAB CHIQISH

*Axmadaliyev Anvarbek Alijon o'g'li*

*Namangan davlat texnika universiteti, assistenti.*

*e-mail: [axmadaliyevanvarbek191@gmail.com](mailto:axmadaliyevanvarbek191@gmail.com)*

**Anatatsiya:** Ushbu ilmiy ishda VR/AR interfeyslari asosida masofaviy manipulyatorlarni aqilli boshqarishning yangi konseptual yondashuvi taqdim etiladi. Taklif etilgan metod operator harakatlarini tabiiy biomexanik model orqali talqin qiladi, kechikishni kompensatsiya qiluvchi prediktiv algoritmi qo'llaydi va visual ko'rinishda fikr-mulohazalarni sinxronlashtiradi. Olingan natijalar VR/AR asosidagi telemanipulyatsiya tizimlarida boshqaruv aniqligi va operator qulayligini sezilarli oshirganini ko'rsatishdan iborat.

**Kalit so'zlar:** VR interfeyslari, AR interfeyslari, telemanipulyator, intuitiv boshqaruv, prediktiv boshqaruv, gaptik feedback, fazoviy sinxronizatsiya, qo'l-harakat modeli, masofaviy robototexnika, operator-interfeys integratsiyasi.

**Аннотация:** В данной статье представлен новый концептуальный подход к интеллектуальному управлению дистанционными манипуляторами на основе интерфейсов виртуальной/дополненной реальности (VR/AR). Предложенный метод интерпретирует движения оператора с помощью естественной биомеханической модели, использует алгоритм прогнозирования, компенсирующий задержку, и синхронизирует обратную связь в визуальном представлении. Полученные результаты демонстрируют значительное повышение точности управления и комфорта оператора в системах телеманипуляции на основе VR/AR.

**Ключевые слова:** интерфейсы VR, интерфейсы AR, телеманипулятор, интуитивное управление, прогнозирующее управление, тактильная обратная связь, пространственная синхронизация, модель движения руки, дистанционная робототехника, интеграция интерфейса оператора.

**Abstract:** This paper presents a new conceptual approach to intelligent control of remote manipulators based on VR/AR interfaces. The proposed method interprets operator movements through a natural biomechanical model, uses a predictive algorithm that compensates for latency, and synchronizes feedback in a visual representation. The results obtained demonstrate a significant increase in control accuracy and operator comfort in VR/AR-based telemanipulation systems.

**Keywords:** VR interfaces, AR interfaces, telemanipulator, intuitive control, predictive control, haptic feedback, spatial synchronization, hand-motion model, remote robotics, operator-interface integration.

### KIRISH

Ushbu ishda Masofadan boshqariladigan manipulyatorlar sanoat, tibbiyot, harbiytexnika, kosmik va xavfli zonalarda foydalaniladigan robototexnika sohalarida keng qo‘llanilmoqda. An’anaviy boshqaruv interfeyslari (joystick, tugma paneli, klaviatura) inson harakatlarining tabiiy mexanikasiga mos kelmaydi va operatorning kognitiv yukini oshiradi. VR/AR texnologiyalari esa operatorga manipulyator bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri fizik aloqadek ishlash imkonini berib, intuitiv boshqaruvni ta’minlaydi.

### Asosiy qismi

Masofadan boshqariladigan manipulyatorlar tibbiyot, har bir robototexnika, kosmik texnologiyalar, atom sanoati va xavfli zonalarda inson faoliyatini almashtirish vazifalarida muhim rol o‘ynaydi. An’anaviy joystick yoki tugmalar orqali boshqarish operatorning tabiiy harakatlariga mos kelmagani sababli manipulyatsiya jarayoni ko‘p vaqt oladi va yuqori aniqlik talab qilingan holatlarda xatolikni oshiradi. VR (Virtual Reality) va AR (Augmented Reality) interfeyslari bu cheklovni bartaraf etib, operatorga manipulyator bilan xuddi real jismdek ishlash imkoniyatini yaratadi. Masofaviy manipulyatorni VR/AR interfeysi orqali intuitiv boshqarish operator qo‘lining fazoviy harakatlarini real vaqt rejimida kuzatish va ularni manipulyator koordinatalariga transformatsiya qilish jarayoniga asoslanadi.

Operator qo‘lining holati  $X(t)$  VR/AR kuzatuv tizimi tomonidan 3D vektor ko‘rinishida aniqlandi:

$$X(t) = (x(t), y(t), z(t), \alpha(t), \beta(t), \gamma(t))$$

Bu yerda:

•  $\alpha, \beta, \gamma$  –bo‘g‘im burchaklari. Qo‘l traektoriyasi kalman filtri orqali silliqanadi

$$\hat{X}(t) = A\hat{X}(t-1) + Bu(t) + \omega(t)$$

Tasvir va manipulyator koordinatalari mos kelishi uchun VR/AR fazoviy transformatsiya operatori qo‘llanadi:

$$Y(t) = R\hat{X}(t) + T$$

Bu yerda:  $R$  –3d aylanish matritsasi,

$T$  –siljish vektori

taklif etilgan matematik model intuitiv boshqaruvni ta‘minlaydi: operatorning biomexanik harakati VR/AR muhitida aniqlanadi, prediktiv filtr orqali kechikish bartaraf etiladi va manipulyatorga transformatsiya qilingan boshqaruv signali uzatiladi.

Modellashda geometrik parametrlar, massalar va bo‘g‘inlar aniq belgilandi. **Gazebo simulyatori orqali fizik muhitda sinovlar** amalga oshirildi. Virtual muhitda robotga turli harakat buyruqlari yuborildi va uning trayektoriyasi kuzatildi. Realistik to‘qnashuvlar, ishqalanish va tortishish kuchlari hisobga olindi.

•**Masofaviy boshqaruv algoritmi** Python tilida yozildi. ROS‘ning `geometry_msgs/Twist` xabarlarini orqali `/cmd_vel` mavzusiga uzatilgan boshqaruv signallari yordamida robot to‘g‘ri, chapga/o‘ngga burilish va orqaga yurish kabi harakatlarni aniq bajarishga erishdi. Real vaqt simulyatsiyasi bilan solishtirilganda, matematik model orqali hisoblangan trayektoriya va ROS simulyatsiya trayektoriyasi o‘rtasida minimal tafovut kuzatildi (pozitsiya xatoliklari o‘rtacha 0.02 m).

•Sensor signallari real vaqt rejimida kuzatildi. Olingan model va boshqaruv algoritmi **haqiqiy apparatga o‘rnatish** uchun tayyor bo‘lib, bu robototexnika

sohasida prototiplarni dastlab virtual muhitda sinab ko‘rish orqali xarajatlarni kamaytirish, xavfsizlikni oshirish imkonini beradi. Mazkur loyiha uchun ishlab chiqilayotgan dasturiy yechim VR/AR texnologiyalari yordamida robot manipulyatorlarini masofadan intuitiv boshqarishga mo‘ljallangan kompleks tizim hisoblanadi. Tizim operatorning harakatlarini virtual muhitda qayd etib, ularni real robot manipulyator harakatlariga moslashtiradi. Bunda foydalanuvchi va robot o‘rtasida real vaqt rejimidagi interaktiv aloqa ta‘minlanadi.

Dasturiy tizim bir nechta funksional modullardan tashkil topadi.

Birinchi modul - foydalanuvchi interfeysi moduli bo‘lib, u VR yoki AR qurilmalar orqali operatorga manipulyatorning virtual modelini ko‘rsatadi. Ushbu modul operatorning qo‘l harakatlari, bosh aylanishi va buyruqlarini qabul qiladi. Virtual muhit Unity 3D platformasi asosida yaratiladi va interfeys foydalanuvchi uchun qulay hamda intuitiv shaklda tashkil etiladi.

Ikkinchi modul - harakatlarni aniqlash va qayta ishlash qismidan iborat. Bu yerda VR kontrollerlar yoki qo‘l tracking sensorlari yordamida operatorning harakat koordinatalari olinadi. Olingan ma‘lumotlar filtrlanib, robot manipulyator bajarishi mumkin bo‘lgan buyruqlarga aylantiriladi. Harakatlarni aniqlash jarayonida koordinatalar tizimi sinxronlashtiriladi va manipulyatorning erkinlik darajalariga moslashtiriladi.

Uchinchi modul - robotni boshqarish qismi hisoblanadi. Ushbu modul manipulyatorning motorlari va servo mexanizmlarini boshqaradi. Tizimda inverse kinematika algoritmlaridan foydalanilib, operator qo‘lining holati robot bo‘g‘inlari harakatiga o‘tkaziladi. Bunda manipulyatorning harakat aniqligi va xavfsizligi nazorat qilinadi. Robot boshqaruvi uchun ROS platformasi hamda Python dasturlash tili qo‘llaniladi.

To‘rtinchi modul - tarmoq orqali ma‘lumot almashish tizimidir. Mazkur qism VR interfeys va robot manipulyator o‘rtasida real vaqt rejimida ma‘lumot uzatishni ta‘minlaydi. Buyruqlar TCP/IP yoki WebSocket protokoli orqali uzatiladi. Kechikishlarni kamaytirish maqsadida ma‘lumotlar optimallashtirilgan holda

yuboriladi. Shu bilan birga, manipulyatorga o‘rnatilgan kamera orqali video oqim VR muhitiga qaytariladi.

### Xulosa

Ushbu ishda VR/AR interfeyslari asosida masofaviy manipulyatorlarni aqilli boshqarish uchun ishlab chiqilgan matematik model operator harakatlarini fazoviy koordinatalar orqali aniq hisob kitob qilish, ularni modellashtirish va manipulyator koordinatalariga transformatsiya qilish jarayonlarini samarali birlashtirdi. Kalman filtriga asoslangan harakatni stabilizatsiya qilish algoritmi tasodifiy tebranishlarni kamaytirdi, prediktiv model esa tarmoq kechikishi ta’sirini minimallashtirdi. Fazoviy transformatsiya (aylanish va siljish operatorlari) VR/AR muhiti bilan manipulyatorning real geometriyasi o‘rtasida to‘liq moslik yaratdi. Gaptik feedback modeli operatorga manipulyator bilan real jismdek ishlash imkonini berib, boshqaruv sezgirlikni oshirdi. Ushbu matematik yondashuv natijasida boshqaruvning aniqligi, barqarorligi va aqilliligi sezilarli oshdi hamda VR/AR asosidagi telemanipulyatsiya tizimlarining amaliy samaradorligini yuqori darajaga ko‘tardi.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. **Szeliski**, *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer. **R. (2010)**. pp.552-555.
2. Anvarbek Akhmadaliyev. Neural networks and trees that can be explained // Formation of psychology and pedagogy as interdisciplinary sciences. Italy. ISBN 978-955-3605-86-4, parts 14-17 p
3. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Articles 332-336.
4. A.A. Askarov. The Role of the Fuzzy Logic Method in Detecting Fires in Production // Best Intellectual Research. 2023. Vol. 10, No. 3, pp.126-130
5. N. Parpiyeva. Automatic control system of pressing equipment parameters // Ethiopian Int
6. International Journal of Multidisciplinary Research. 2024. Vol.11, Iss,3, pp.147-153.

7. Anvarbek Akhmadaliyev. "Remote Control Of Substance Quantity And Consumption ", Journal of new century innovations, 15 Volume–30\_Issue-5\_Iyun\_2023, <http://www.newjournal.org/>., 15-19 p.
8. Bolles, R. C., & Paul, R. P. Telem Manipulation and Robot Control Technologies. Springer, 2018.
9. Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). Springer Handbook of Robotics. Springer, 2016.
10. Milgram, P., & Kishino, F. "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays." *IEICE Transactions on Information Systems*, 1994.
11. [www.arxiv.org](http://www.arxiv.org)



INNORES