



АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL

DOI 10.51885/1561-4212_2025_1_177
MFTAA 55.30.31

**Д.О. Кожаметова¹, С.А. Калиева², Г.Т. Мухамедрахимова²,
И.Б. Карымсакова¹, К. Алибекқызы³**

¹Shakarim University, Семей қ., Қазақстан

E-mail: dinara_kozhahmetova@mail.ru

E-mail: indviki@mail.ru

²Л. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

E-mail: s.kaliyeva@mail.ru

E-mail: isatai-07@mail.ru

³Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,

Өскемен қ., Қазақстан

*E-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru**

РОБОТ МАНИПУЛЯТОР ҚОЗҒАЛЫСЫН БАСҚАРУ ПРОЦЕСІНІҢ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛІН ҚҰРУ

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ

CREATING COMPUTER SIMULATION OF MOVEMENT CONTROL PROCESSES OF ROBOT-MANIPULATORS

Аңдатпа. Ұсынылған мақалада робот – манипуляторын басқару үшін техникалық көру (техническое зрение) технологиясын пайдаланып зерттелген алгоритм ұсынылған. Қазіргі технологияның дамыған заманында, өндірістерде және басқа да салаларда робот-манипуляторлар кеңінен қолданылуда және оларды қолдану саласы күнде өсуде. Осы ретте робот тақырыбы өте өзекті бола отырып, осы бағыттағы зерттеулер роботтандырылған жүйе және қауіпсіздігін және жұмысын тиімділігін арттырады. Мақаланың мақсаты әр-түрлі алгоритмдерді зерттей отырып, техникалық көруді басқару жүйесімен интеграциялау.

Робот-манипулятормен басқару алгоритмдері-бұл роботтарға белгілі бір қозғалыстар мен тапсырмаларды қажетті тиімділік пен дәлдікпен орындауға мүмкіндік беретін математикалық процедуралар мен әдістер жиынтығы. Белгілі тапсырманы орындау үшін робот маңызды мәліметті сыртқы ортадан техникалық көру арқылы алады. Мақалада алгоритмнің үш негізгі алгоритмі қарастырылған: кері кинематика, PID-реттегіш және машиналық оқыту алгоритмі. Кері кинематика робот буындарының айналу бұрыштарын анықтайды, олар жұмыс құралының белгіленген орны мен бағытына жету үшін қажет. PID – реттегіш робот буындарының қозғалысын басқарады. Жылдамдық пен күшті басқару арқылы ол нақты және берілген позиция арасындағы қателерді түзетеді. Машиналық оқыту әдістерін қолдану жаңа тапсырмаларды үйренуге және сипаттамалық өзгеретін жағдайларға бейімдеуге мүмкіндік береді.

Осы зерттеу аясында алгоритмдер мен техникалық көрудің теориялық аспектілері қарастырылады. Зерттеулер Simulink қолданбалы пакеті, MATLAB ортасында және ZARNITZA Optima 2 манипуляторында жүргізілді.

Түйін сөздер: робот-манипулятор, басқару алгоритмі, модельдеу, PID-реттегіш, машиналық оқыту, техникалық көру, Simulink қолданбалы пакеті, Оптимизация 2.

Аннотация. В данной статье представлено исследование алгоритмов с использованием технического зрения для управления роботом-манипулятором. С увеличением числа роботов, используемых в промышленности и других отраслях, возросла необходимость в надежных и точных алгоритмах управления. Таким образом актуальность темы возрастает, а исследования в этой области могут значительно улучшить эффективность и безопасность роботизированных систем. Целью данной статьи является всестороннее исследование различных алгоритмов управления, а также интеграции технического зрения в системы управления.

Алгоритмы управления роботами-манипулятором представляют собой набор математических процедур и методов, которые позволяют роботам выполнять определенные движения и задачи с необходимой эффективностью и точностью. Для этого робот получает важные данные об окружающем его мире с помощью технического зрения. В статье рассмотрены три основных типа алгоритмов: обратная кинематика, ПИД-контроллеры и алгоритмы машинного обучения. Обратная кинематика определяет углы поворота суставов робота, которые необходимы для достижения заданного положения и ориентации рабочего инструмента. PID-контроллер контролирует движения суставов робота. Управляя скоростью и усилием, он исправляет ошибки между фактическим и заданным положением. Использование методов машинного обучения позволяет обучаться новым задачам и адаптировать своё поведение к изменяющимся условиям.

В рамках данного исследования будут рассмотрены теоретические аспекты алгоритмов и технического зрения. Исследования проводились на манипуляторе Оптима 2 фирмы ZARNITZA и в программном пакете Simulink, MATLAB.

Ключевые слова: робот-манипулятор, алгоритмы управления, обратная кинематика, моделирование, PID-регуляторы машинное обучение, техническое зрение, программный пакет Simulink, Оптима 2.

Abstract. This article presents a study of algorithms using technical vision to control a robotic arm. With the increasing number of robots used in industry and other industries, the need for reliable and accurate control algorithms has increased. Thus, the relevance of the topic increases, and research in this area can significantly improve the efficiency and safety of robotic systems. The purpose of this article is a comprehensive study of various control algorithms, as well as the integration of technical vision into control systems.

Robot manipulator control algorithms are a set of mathematical procedures and methods that allow robots to perform certain movements and tasks with the required efficiency and accuracy. To do this, the robot receives important data about the world around it using technical vision. The article discusses three main types of algorithms: inverse kinematics, PID controllers, and machine learning algorithms. Inverse kinematics determines the angles of rotation of the joints of the robot, which are necessary to achieve a given position and orientation of the working tool. The PID controller controls the movements of the robot's joints. By controlling the speed and force, it corrects errors between the actual and set position. Using machine learning methods allows you to learn new tasks and adapt your behavior to changing conditions.

Within the framework of this study, the theoretical aspects of algorithms and technical vision will be considered. The research was carried out on the Optima 2 manipulator from ZARNITZA and in the Simulink and MATLAB software package.

Keywords: robot-manipulator, control algorithms, reverse kinematics, modeling, PID-controllers machine learning, technical vision, Simulink software package, Optics 2.

Кіріспе. Робототехника соңғы жылдарда әртүрлі салаларда жаңа мүмкіндіктер ашты. Олар жоғары дәлдік пен икемділікті қажет ететін көптеген тапсырмаларды орындай алады. Ең күрделі және маңызды міндеттердің бірі – мұндай роботтарды тиімді басқару болып табылады. Бұл мәселені шешу үшін заманауи технологиялар мен алгоритмдерді қолдану қажет.

Робототехниканың қалыптасуымен роботтардың 3 түрі анықталды: тек программамен әрекет ететін; оператор басқаратын манипуляторлар; жасанды интеллектпен (интегралды деп те аталады) олар адамның араласуынсыз арнайы («ақылға қонымды») жұмыс істейді. Ең заманауи роботтар – робот-манипуляторлар. Өнеркәсіптік роботты манипуляторларға «механикалық қол» және қашықтан басқару құралдары немесе интеграцияланған бағдарламалық жасақтама кіреді.

Қазіргі уақытта қолданылатын басқару алгоритмдеріне кері кинематика және PID контроллері сияқты классикалық әдістер де, робототехника үшін жаңа мүмкіндіктер

ашатын машиналық оқытудың соңғы әдістері де кіреді. Неғұрлым белсенді және жылдам сипатта манипуляторларды басқару жүйелеріне техникалық көруді енгізуге болады. Техникалық көру жүйесімен жабдықталған манипулятордың қолы объектіні қысып ұстамас бұрын оның орналасуы мен пішінін анықтайды, осылайша қолайлы нәтижені арттырады. Яғни, робот техникалық көру арқылы, көру мен одан ары қарай әрекет етуді үйлестіріп, реттейді (G.Balbayev, т.б. 2021., Yang-Jie Cao 2019).

Соңғы уақытта, алгоритмдердің, әсіресе машиналық оқыту әдістерінің жетістіктері техникалық көру негізінде қабылдау жүйелерінің дәлдігі мен сенімділігін айтарлықтай жақсартты (P.M. Rahmetova 2017).

Материалдар мен зерттеу әдістері. Робот манипулятор қозғалысын басқару кезінде ең басты міндет оның орналасқан жерін анықтау. Ол үшін роботтың техникалық көру жүйесін (системы технического зрения) қолданып қоршаған орта туралы ақпаратты жинайтын семантикалық карта қолданылады.

Робот қозғалысын және бейнелерді айқындауды басқару жүйесіне келесілер кіреді: техникалық көру арқылы деректерді жинау және талдау, кері кинематикалық тапсырма арқылы позицияны анықтау, PID реттегіштері арқылы қозғалысты басқару және машиналық оқыту әдістері арқылы бейімделу. Манипулятор буындарының орналасуын дәл анықтау үшін техникалық көру жүйесі қолданылады. Осының арқасында робот манипуляторы кеңістікте орналасқан әртүрлі нысандармен тиімді жұмыс істей алады, өйткені позициялау дәлдігі мен жалпыланған координаттарда қателік аз болады (**D.S. Kolygin, т.б. 2017**).

Бұл жұмыста пропорционалды-интегралды-дифференциалды (PID) реттегіштер мен басқару алгоритмдері қарастырылады. Робот қозғалыс траекторияларын жоспарлау үшін, қозғалысы мен бейнелерді айқындауды басқару мен негізгі жұмыс принциптері жылжымалы режим негізінде, авторлардың (H.Cho, L. 2020, Fan, Joo E.M. 2009, Schlanbusch R. 2012) мақалаларда және автор (H.K. Khalil 2002) кітабында бейсызықты жүйені сипаттаған. Автор (B. Siciliano 2009) мақаласында жүйелерді модельдеу және басқару синтезі мәселелері мен робот-манипуляторларының түрлері және олардың қолдану аймақтары сипатталған. Робот-манипулятор динамикасының теңдеулерін қалыптастыру әдістері мен есептеу тұрғысынан тиімді динамика теңдеулері (T.Bräunl 20022, M. Arteaga т.б. 2022, A.Jain 2000) еңбектерінде сипатталған. MATLAB – Simulink кең таралған ортада зерттелетін мәселелерді бағдарламалық қамтамасыз етудің аспектілері (E. Веремей 2004) еңбектерінде қамтылған.

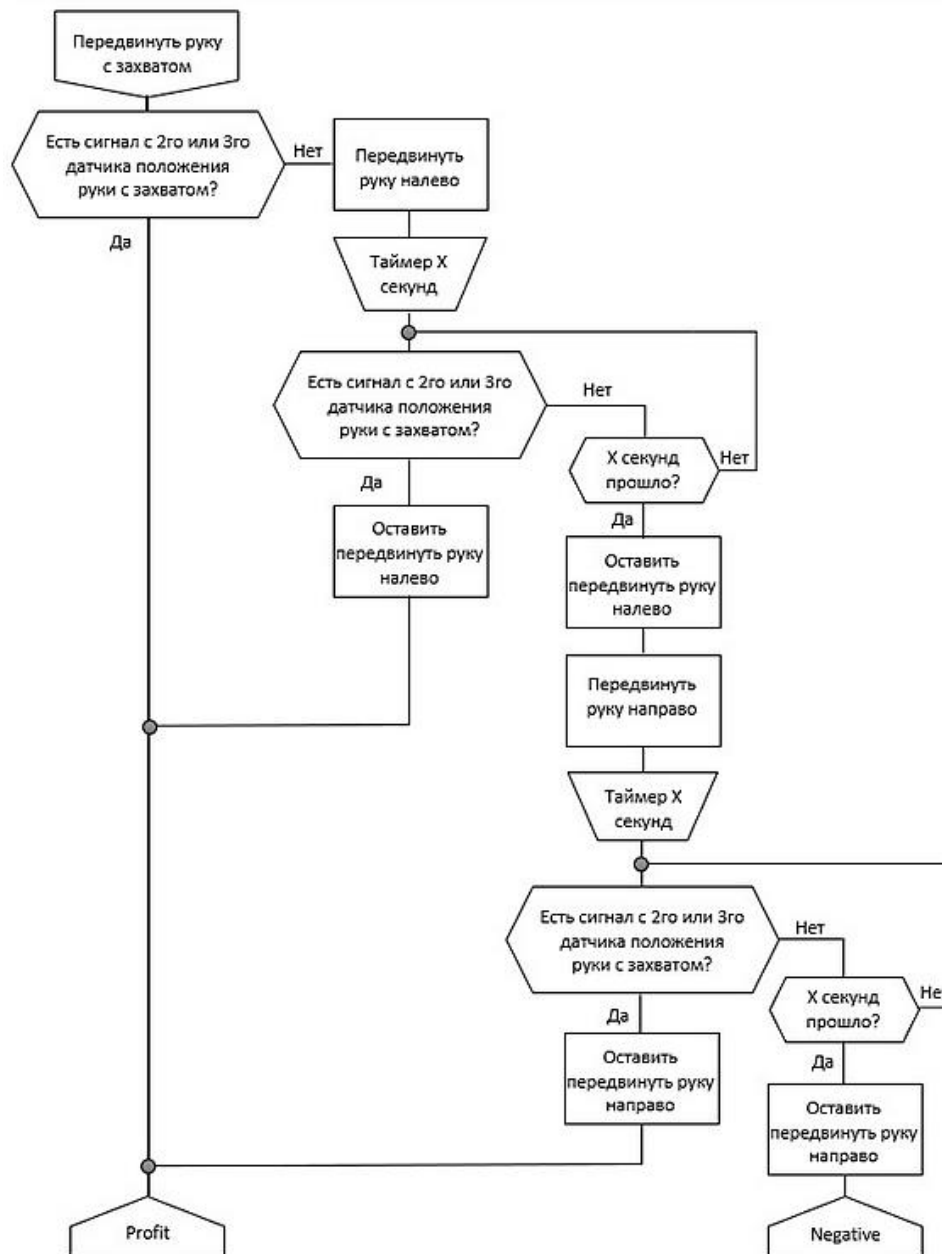
Техникалық көруді пайдалану алгоритмдері суреттерді түсіруден бастап нақты әрекеттерді орындау үшін деректерді талдауға және түсіндіруге дейінгі бірнеше кезеңдерді қамтиды. Бірінші қадам ол, жабдықты таңдау, нысанды орналастыруға арналған негізгі құрылғылар ол – камералар. Мысалы, RGB, стерео камералар, инфрақызыл камералар, ToF камералары және басқа LIDAR типті сенсорлар, ультрадыбыстық сенсорлар. Дәлдікті қамтамасыз ету үшін камералар мен сенсорлардың синхронды әрекет етуі және деректерді бір уақытта түсіруі маңызды.

Келесі қадам мәліметтерді жинау болып табылады. Яғни, камера сканерлейтін объектілер жұмыс кеңістігіне орналастырылады, Содан кейін мәліметтер жиынтығын жасау үшін сипатталады. Техникалық көру кескінді өңдеуді, нысанды анықтауды және кескінді сегменттеуді қамтиды. Кескіндерді өңдеу цифрлық кескіндерді әрі қарай пайдалану мақсатында оларды талдау үшін қажет. Шуды кетіретін, контрасты жақсартатын және контурларды бөлектейтін сүзгілерді пайдалану арқылы кескін сапасы жақсарады.

Келесі кезеңде, нысандарды тану, позиция мен бағдарды анықтау, сегменттеу және тереңдікті бағалау үшін машиналық оқыту алгоритмі қолданылады.

Келесі объектілерді тану үшін терең оқыту алгоритмдері қолданылады, позиция мен

бағдарды анықтау, сегменттеу және тереңдікті бағалау. Конвульсиялық нейрондық желілер (CNN) көлемдерді таниды, ал u-net архитектурасы кескіндерді сегменттейді, бұл көру аймағының мазмұнын пикселдер арқылы анықтауға мүмкіндік береді. Әрі қарай, Kalman Filter немесе Optical Flow сияқты бақылау алгоритмдері объектілердің кеңістіктегі қозғалысын бақылайды, 1-сурет «Робот – манипулятор» жұмысының блок-схемасы көрсетілген.



1-сурет. «Робот-Манипулятор» модуль жұмысының блок-схемасы

Ескерту – автормен құрастырылған

Жүйенің күйін сипаттау үшін О_{xy} Қозғалмайтын көлденең тікбұрышты координаттар жүйесін қарастырамыз (2-сурет).

«Робот-Манипулятор» басталуы қозғалмайтын O нүктесімен біріктірілген, оның айналасында бірінші айналмалы қозғалыстар жасалады. Роботтың кез келген уақытта орналасуы үш бұрышпен анықталады: q_1 – O у вертикалды осінен бірінші ауытқу бұрышы, q_2 – екіншісінің ауытқу бұрышы және q_3 – вектор бағытынан үшінші буынның ауытқу бұрышы. Бұрыштарды санаудың оң бағыты ретінде сағат тіліне қарсы айналу бағыты қабылданады.



2-сурет. «Робот-Манипулятор» бастапқы жағдайы

Ескерту – IT технология кафедрасының зертханасында тәжірибе жасалған

«Робот-Манипулятор» басталуы қозғалмайтын O нүктесімен біріктірілген, оның айналасында бірінші айналмалы қозғалыстар жасалады. Роботтың кез келген уақытта орналасуы үш бұрышпен анықталады: q_1 – O у вертикалды осінен бірінші ауытқу бұрышы, q_2 – екіншісінің ауытқу бұрышы және q_3 – вектор бағытынан үшінші буынның ауытқу бұрышы. Бұрыштарды санаудың оң бағыты ретінде сағат тіліне қарсы айналу бағыты қабылданады.

Басқару ол, буынның айналу моменттерінен тұратын вектор $u = (\tau_1, \tau_2, \tau_3)^T$. Роботтың физикалық параметрлерінің құрамына келесілер кіреді: m_i буын массасы, олардың ұзындығы L_i , әр буын үшін оның басынан l_i масса центріне дейінгі қашықтық және масса центріне қатынасты буынның инерция моменттері, мұнда $i=1,2,3$. Барлық сандық шамалар СИ жүйесінде келтірілген.

Басқару нысанының математикалық моделі

Бастапқыда келтірілген роботтың барлық параметрлерін жинақтап, келесідей түрде жазамыз:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= J_1 + m_1 l_1^2 + (m_2 + m_3) L_1^2, \\ \alpha_2 &= J_2 + m_2 l_2^2 + m_3 L_2^2 \alpha_3 = (m_2 l_2 + m_2 L_2) L_1, \\ \alpha_4 &= J_3 + m_3 l_3^2, \\ \alpha_5 &= m_3 l_3 L_1, \\ \alpha_6 &= m_3 l_3 L_2.\end{aligned}$$

Көрсетілген шамаларды ескере отырып, басқару объектісі ретінде манипулятор динамикасының моделі екінші типтегі Лагранж теңдеулер жүйесімен сипатталады:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} = u, \quad (1)$$

мұнда $u = (\tau_1, \tau_2, \tau_3)^T$ - айналу моментін басқару векторы, $q = (q_1, q_2, q_3)^T$ - жүйенің бұрыштық координат векторы, $M(q)$ - инерцияның оң анықталған симметриялық матрицасы, $C(q, \dot{q})$ - ортадан тепкіш күш матрицасы. Матрица элементтері $M(q) = \{M_{ij}\}_{i,j=\overline{1,3}}$, $C(q, \dot{q}) = \{C_{ij}\}_{i,j=\overline{1,3}}$ келесідей қатынастардан алынады:

$$\begin{aligned} M_{11} &= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + 2\alpha_3 \cos q_2 + 2\alpha_5 \cos(q_2 + q_3) + 2\alpha_6 \cos(q_3), \\ M_{1,2} &= \alpha_2 + \alpha_3 \cos q_2 + \alpha_5 \cos(q_2 + q_3) + 2\alpha_6 \cos q_3, \\ M_{21} &= M_{12}, \\ M_{13} &= \alpha_4 + \alpha_5(q_2 + q_3) + \alpha_6 \cos q_3, \\ M_{31} &= M_{13}, \\ M_{22} &= \alpha_2 + \alpha_4 + 2\alpha_6 \cos q_3, \\ M_{23} &= \alpha_4 + \alpha_6 \cos q_3, \\ M_{32} &= M_{23}, \\ M_{33} &= \alpha_4; \end{aligned}$$

Горизонталь жүйе қарастырылады, ізінше динамика теңдеуінде (1) гравитациондық күш болмайды. Есептеу нәтижелері кері кинематика жүйесіне беріледі. Оның көмегімен белгілі бір позицияға жету үшін манипулятордың буындарын бұру немесе жылжыту үшін қандай бұрыштар қажет екенін анықтауға болады.

Келесі басқару алгоритмін алу үшін қателік шамасы мен оның туындысын анықтаймыз:

$$e = r - q, \quad \dot{e} = \dot{r} - \dot{q},$$

мұндағы, $r = (r_1, r_2, r_3)^T$ - q векторының қажет траекториясы.

$$u = M\ddot{r} + C\dot{r} + K_\theta \dot{e} + K_p F(e)e, \quad (2)$$

мұнда K_θ, K_p - оң анықталған диагоналды матрица, F - диагоналды көрініс матрицасы

$$\begin{aligned} F(x) &= \text{diag}(f(x_1), f(x_2), f(x_3)), \\ f(x_i) &= \frac{(2\alpha_i + |x_i|)}{(\alpha_i + |x_i|)^2} > 0, \end{aligned} \quad (3)$$

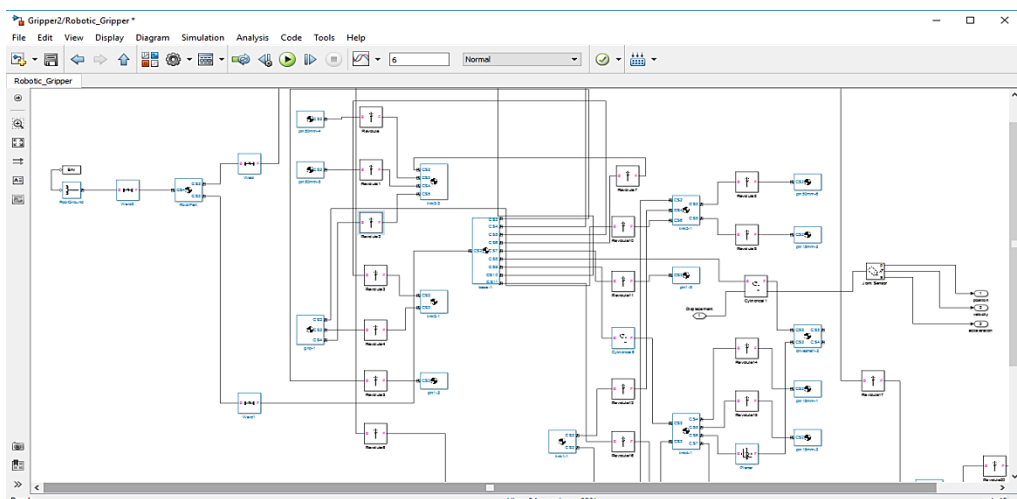
мұнда α_i - оң коэффициенттер, $x = (x_1, x_2, x_3)^T$ - функцияның векторлық аргументі.

Робот манипуляторын басқару алгоритмі PID - реттегіші алынды. PID реттегіштері - бұл берілген шығыстық шама деңгейін бақылап, реттейтін басқару құрылғысы (**К. Н. Ang, т.б. 2005**). Пропорционалды реттегішке ағымдағы қате тікелей әсер етеді. Ол неғұрлым үлкен болса, басқару сигналы соғұрлым үлкен болады. Осылайша, бұл реттегіш ауытқуларға тез жауап беруге ықпал етеді, бірақ бұл статистикалық қатені тудыруы мүмкін. Интегралды реттегіш баяу және ұзақ ауытқуларды түзету арқылы тұрақты қателік мәселелерін шешуге көмектеседі. Дифференциалды реттегіш жүйені тұрақтылыққа және жылдам түзетулерге төзімділікке әкеледі, болатын қатенің әсерін алдын алып, азайтады (**S.Z.S. Al-Khayt 2013**).

PID реттегіштері техникалық көру қабілетімен бірге робот манипуляторын басқаруды бірнеше есе жақсартады, бұл дәлірек және икемді іске асыруға мүмкіндік береді. Камералармен суретті түсіріп, өндегеннен кейін визуалды деректерге негізделген қателерді есептеу басталады. Содан кейін манипулятордың немесе объектінің мақсатты нүктеге қатысты орны анықталынып, ағымдағы позиция мен берілген мақсат арасындағы қате есептеледі. Әрі қарай, ол қозғалыстарды реттей

отырып, манипулятор жетектеріне беріледі. Роботтың жағдайы туралы ақпарат, техникалық көру үнемі жаңарып отырады. Осылайша, бұл PID реттегіштеріне ағымдағы өзгерістерге жауап беруге мүмкіндік береді (A.S. Goncharov, т.б. 2021, R. Liu, т.б. 2021, M.YU. Serebryakov т.б. 2022).

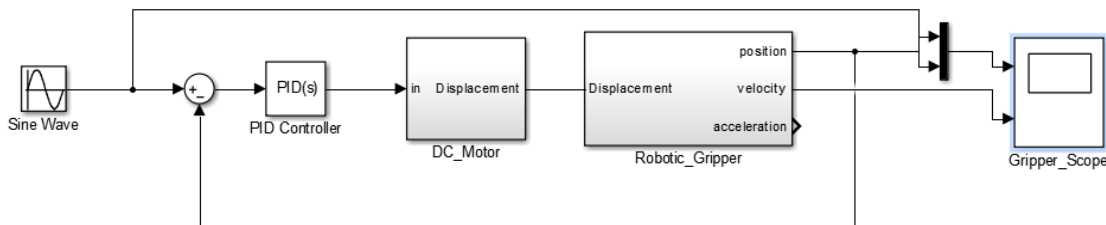
Нәтижелер және оларды талқылау. Бұл бөлімде үш буынды басқару үшін алдыңғы бөлімде сипатталған басқару схемаларын қолдану нәтижелері келтірілген сандық параметрлердің нақты жиынтығы бар робот нәтижелері келтірілген. Барлық қажетті есептеулер мен имитациялық модельдеуді жүргізу Simulink қолданбалы пакетін қолданып, MATLAB ортасында жүзеге асырылады сурет 3. Модельді құру кезінде SimMechanics пакетінің келесідей блоктары қолданылды: Machine Environment, Ground, Revolute, Body, Joint Initial Condition, Joint Actuator, Joint Sensor.



3-сурет. Робот манипуляторының SimMechanics ортасындағы моделі

Ескерту – автормен құрастырылған

Манипулятор моделін құру XYZ координаттар кеңістігінде жүзеге асырылады. Модельді құру кезінде Simulink пакетін пайдаланып жетек реттегіштерін конфигурациялау қажет. Басқарылатын жетектегі типтік түрлендіргіште жылдамдық, ток реттегіштері, ток сенсоры бар. Жылдамдық пен ток реттегіштері құрылымы өзгертін PID реттегіштері болып табылады және жылдамдық кері байланысы ротордың айналу бұрышы сенсорынан уақыт бірлігіне импульстар санын санау арқылы ұйымдастырылады. Бұл модельге 3 буын және 3 цилиндрлік шарнир кіреді. Бірінші цилиндрлік шарнир Ground блогының көмегімен негізге қосылған.

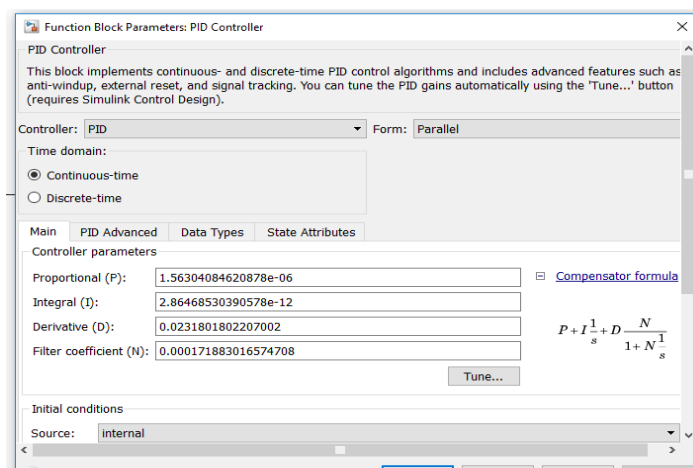


4-сурет. Робот манипуляторының PID реттегішін басқару моделі

Ескерту – автормен құрастырылған

Басқару буынының беріліс функциясы аperiодтық байланыс түрінде болады, ал беріліс коэффициенті мен уақыт константасы контур уақытының минималды константасын қамтамасыз ету шартынан таңдалады (4-сурет). Өтпелі процесті оңтайлы түрге келтіру үшін келесі ережелер қолданылды (5-сурет):

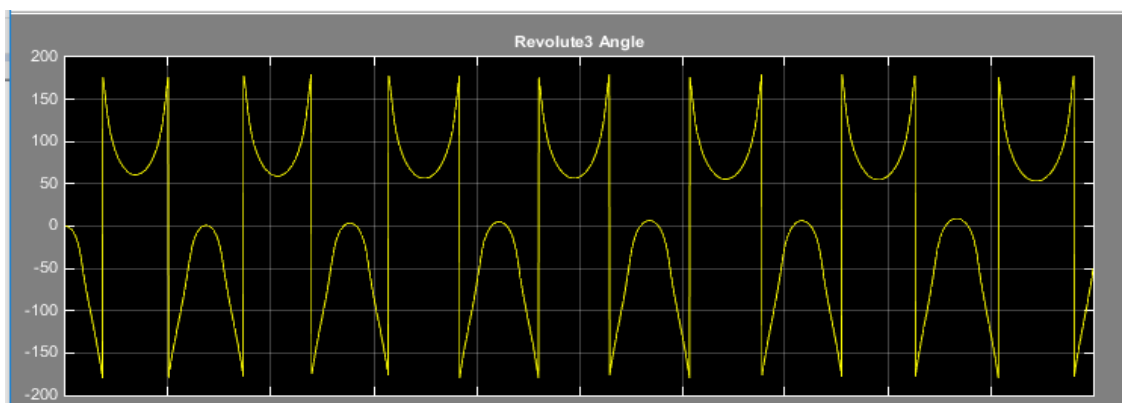
- пропорционалды күшейтуді арттыру өнімділікті арттырады және тұрақтылықты азайтады;
- интегралды реттегіш азайған кезде уақыт өте келе реттеу қатесі тезірек азаяды;
- дифференциалды реттегіштің ұлғаюы тұрақтылық пен өнімділікті арттырады.



5-сурет. PID реттегішін күйге келтіру үшін графиктік интерфейс

Ескерту – автормен құрастырылған

Модельдеу кезінде шынайы қозғалтқыштар мен ток тізбегінің параметрлері қолданылады. Жылдамдық реттегішінің параметрлері function blok Parameters: PID Controller блогының көмегімен жүктеменің орташа мәндері үшін жетек моделіне сәйкес реттелді, ол реттегіштің PID коэффициенттерін берілген өтпелі қисық бойымен түбірлік әдістермен автоматты түрде іздейді.

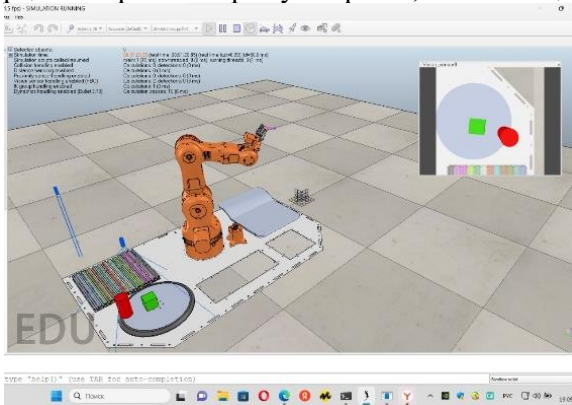


6-сурет. Робот манипуляторының simmechanics моделінің нәтижелері – түсіру қозғалысы

Ескерту – автормен құрастырылған

Манипулятордың атқарушы кинематикалық тізбегінің моделін құру XYZ оң жақ инерциялық координаттар жүйесінің кеңістігінде жүзеге асырылады. 6-7-суреттерде

жоғарыда айтылғандарға сәйкес салынған манипулятордың атқарушы кинематикалық тізбегінің координаталық осінде манипуляторды түсіру жылдамдығының проекциялары келтірілген. Манипуляторды басқару бұрыштық қозғалыс немесе декарттық координаттар арқылы жүзеге асырылуы мүмкін, сонымен қатар техникалық көру модулі бар.



7-сурет. Манипуляторды түсіру күйінің координаттарын өзгерту

Ескерту – автормен құрастырылған

Басқару сапасына реттегіш коэффициенттерінің әсері зор, басқару мақсаты қандай, қажетті қандай траекториялар алынды, және жүйеге қандай да бір кедергілердің әсерінің бар екендігін білу үшін компьютерлік модельдеуді қажет етеді. Бұл бөлімде қажетті траекторияны бере отырып, өтпелі процесс уақыты мен қайта реттеуді минимизацияладық

Қорытынды. Ұсынылып отырған мақалады робот-манипуляторларға қолданылатын заманауи басқару әдістеріне қысқаша шолу берілді. Зерттеу барысында екі тәсіл зерттелді: бұрыштық қозғалысты басқару және декарттық координаттар жүйесі. Манипулятор айналу осьтеріне қатысты буындардың айналу бұрыштарын өзгертетін бұрыштық қозғалыс біздің жағдайда ыңғайлы болды, өйткені ол шектеулі кеңістіктерде күрделі тапсырмаларды орындау кезінде көбірек еркіндік береді. Белгілі бір түсіру көлбеуі қажет тапсырмаларда бұрыштарды басқару жақсы бақылауды қамтамасыз етеді және түрлендірулерге қатысты қателіктерді жібермейді.

Сонымен қатар, техникалық көру мен машиналық оқытуды біріктіру позициялау дәлдігін арттыратыны анықталды. CNN-дің камералардан деректерді талдаудағы тиімді жұмысының арқасында объектілердің бағытын дәл анықтауға болады. Осылайша, бұл PID реттегіштерін басқару және кері кинематика алгоритмдерінің жұмысын жақсартады.

Тексеру үшін Optima 2 бағдарламалық жасақтамасында, Simulink қолданбалы пакетін қолданып, MATLAB ортасында және V-REP симуляциялық платформасында эксперименттер жүргізілді. Бұл виртуалды эксперименттер бұрыштық қозғалысты да, декарттық координаттарды да басқарудың тиімділігін растады. Модельдеу нәтижелері нақты манипуляторда сәтті шығарылды.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдеді.

Ғылыми мақаланы жазу процесінде генеративті ЖИ және оның көмегімен технологияны қолдану туралы хабарлама. Бұл жұмысты дайындау кезінде авторлар генеративті ЖИ қолданбады.

Әдебиеттер тізімі

- G. Balbayev, A. Mussina, A. Zhauyt, B. Shingissov, M. Kalekeyeva. Neural Control for Image Stabilisation Using a Reference Model. // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2021. – vol. 10 № 1. – P. 17-21.

- Yang-Jie Cao, Li-Li Jia, Yong-Xia Chen, Nan Lin, Cong Yang, Bo Zhang, Zhi Liu, Xue-Xiang Li, Hong-Hua Dai. Recent Advances of Generative Adversarial Networks in Computer Vision // IEEE Access. – 2019. – Vol. № 7. – P. 14985-15006.
- П.М. Рахметова, Ж.Н. Исабеков, А.Ю. Бектилеков. Исследование системы управления движением манипулятора с помощью компьютерного зрения // Вестник КазАТК. – 2023. – № 6 (129). – С. 319-326 // P.M. Rahmetova, Zh.N. Isabekov, A.Yu. Bektilevov. Issledovanie sistemy upravleniya dvizheniem manipulyatora s pomoshch'yu komp'yuternogo zreniya // Vestnik KazATK. – 2023. – № 6 (129). – S. 319-326.
- Колтыгин Д.С., Седелников И.А., Петухов Н.В. Аналитический и численный методы решения обратной задачи кинематики для робота Delta // Вестн. Иркутского гос.технического ун-та. – 2017. – Т. 21. № 5 (124). – С. 87-95 // Koltygin D.S., Sedel'nikov I.A., Petuhov N.V. Analiticheskij i chislennyj metody resheniya obratnoj zadachi kinematiki dlya robota Delta // Vestn. Irkutskogo gos.tekhnicheskogo un-ta. – 2017. – Т. 21. – № 5 (124). – S. 87-95
- Cho H. On Robust Adaptive PD Control of Robot Manipulators. Journal of Applied and Computational Mechanics. 2020; 6:1450-1466. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.22055/JACM.2020.35658.2707>
- Fan L., Joo E.M. Linear and nonlinear PD-type control of robotic manipulators for trajectory tracking. 2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. IEEE Press; 2009. – P. 3442-3447. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2009.5138846>
- Schlanbusch R., et al. PD+ based output feedback attitude control of rigid bodies. IEEE Transactions on Automatic Control. 2012; 57(8):2146-2152. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1109/TAC.2012.2183189>
- Santibañez V., Kelly R. PD control with feedforward compensation for robot manipulators: analysis and experimentation. Robotica. 2001; 19(1):11-19. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1017/S0263574700002848>
- Piltan F., Sulaiman N.B. Review of sliding mode control of robotic manipulator. World Applied Sciences Journal. 2012; 18(12):1855-1869. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.18.12.208>
- Corradini M.L., et al. Discrete time sliding mode control of robotic manipulators: Development and experimental validation. Control Engineering Practice. 2012; 20(8):816-822. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2012.04.005>
- Sotnikova M.V., Veremey E.I., Korovkin M.V. Transoceanic routes optimization using dynamic properties of ship and weather conditions. 2017 Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics (dedicated to the memory of V.F. Demyanov) (CNSA). IEEE Press, St. Petersburg, Russia; 2017. – P. 1-4. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1109/CNSA.2017.7974017>
- [Khalil H.K. Nonlinear systems third edition. Patience-Hall, Inc.; 2002. 3rd ed. 768 p. (In Eng.)
- Siciliano B., et al. Robotics: Modelling, Planning and Control. Advanced Textbooks in Control and Signal Processing. Springer Science & Business Media, London; 2009. – 632 p. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-642-1>
- Bräunl T. Robot Manipulators. In: Embedded Robotics. Springer, Singapore; 2022. – P. 253-269. (In Eng.) doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0804-9_13
- Arteaga M.A., Gutiérrez-Giles A., Pliego-Jiménez J. Dynamics of Rigid Robot Manipulators. Local Stability and Ultimate Boundedness in the Control of Robot Manipulators. Springer, Cham; 2022. – P. 71-102. (In Eng.) doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85980-0_3

Information about authors

Kozhakhmetova Dinara – Associate Professor of the Department of IT Technologies, Doctor of Philosophy PhD, Shakarim University of Semey, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: dinara_kozhahmet@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4327-3899>, +7775 433 44 95

Samal Kaliyeva – PhD, Associate Professor of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, L.N.Gumilov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: s.kaliyeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4561-8045>, +7 777 235 6190

Mukhamedrakhimova Galiya – Candidate of Pedagogical Sciences of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, L.N.Gumilov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: isatai-07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9951-6263>, +7 708 425 5446

Karymsakova Indira – Associate Professor of the Department of IT Technologies, Doctor of Philosophy PhD, Shakarim University of Semey, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: indviki@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1496-3188>, +7 702 803 2029

Alibekkyzy Karlygash – Philosophy PhD, Associate Professor of the SDTeAI, D.Serikbaev EKSTU, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: karlygash.alibekkyzy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6732-4363>, +707 646 52 11