

АҢДАТПА
"Жаңа трипод түрдегі 3-PRRS параллель манипулятордың
кинематикалық талдауы"
тақырыбы бойынша
Кайыров Рустем Айбековичтің
6D060300-Механика
мамандығы бойынша PhD философия докторы дәрежесін алуға
ұсынылған диссертациялық жұмыс

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Қазіргі робототехниканың жағдайын талдау заманауи роботтардың көбісінің атқарушы механизмдері (манипуляторлары) ашық (антропоморфты) кинематикалық тізбек түрдегі сериялық манипуляторлар екендігін көруге болады. Сериялық манипуляторлар әмбебапты, кең жұмыс аймақты және қозғалыс маневрлілігі жоғары болғанымен бірқатар кемшіліктері де бар. Олардың құрылымы арысты болғандықтан, қатаңдығы төмен, жүккөтергішітігі нашар және жайғастыру дәлдігі төмен болып табылады.

Роботтардың кинематикалық сұлбаларын жасаудағы баламалы әдіс ретінде тұйық кинематикалық тізбекті параллель манипуляторларды қолдануға болады. Сериялық манипуляторларға қарағанда параллель манипуляторлардың құрылымы қатаң, жүккөтергішітігі, жайғастырудың дәлдігі жоғары және елеулі тезерекеттілікке ие болады. Осы артықшылықтарына байланысты параллель манипуляторлар ғарыш саласында, медицинада, қозғалыс симуляторларында, өндірісте кеңінен қолданылады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: еркіндік дәрежесі алтыға тең жаңа трипод түрдегі 3-PRRS параллель манипуляторға кинематикалық талдау жасау болып табылады.

Зерттеу міндеттері:

1. Трипод түрдегі жаңа параллель манипулятордың құрылымдық сызбасын жасау және еркіндік дәрежесін анықтау;
2. Белсенді (кіріс) кинематикалық жұптардың қозғалысын және жұмыс аймағын анықтау үшін трипод түрдегі жаңа параллель манипулятордың тура және кері кинематикалық есептерін шешу;
3. Жұмыс аймағын анықтау;
4. Якобиандық талдау жасау, жылдамдықтың тура және кері кинематикалық есептерін шешу.
5. Трипод түрдегі жаңа параллель манипулятордың сингулярлық конфигурациясын анықтау;
6. Жұмысқа жарамдылығын анықтау үшін трипод түрдегі жаңа параллель манипулятордың 3D модельдеу.

Зерттеу әдістері. Зерттеу әдіснамалық негізін математикалық модельдеу құрайды. Трипод түрдегі параллель роботтың жаңа құрылымы механизмдер мен манипуляторларды құрудың жетілдірілген қағидалары негізінде алынды.

Трипод түрдегі параллель манипуляторды 3D модельдеу кезінде SolidWorks бағдарламасы пайдаланылды, барлық есептеулер Matlab бағдарламасында жүргізілді.

Зерттеу нәтижесінің теориялық және тәжірибелік маңыздылығы. Қазіргі уақытта параллель роботтар қозғалыс симуляторларында, медицинада, ғарыш саласында, өндірістің көптеген салаларында (автоматтандырылған дәнекерлеу, тегістеу, кесу, бақылау, жүк тиеу-түсіру жұмыстары, құбырларды монтаждау, мұнай ұңғымаларындағы өртті сөндіру, кеме жасау, көпір салу, әуе кемелеріне техникалық қызмет көрсету, кемеден кемеге тасымалдау, болат монтаждау және т.б.) қолданылады. Жұмыста қарастырылып отырған алты еркіндік дәрежелі трипод түрдегі 3-PRRS параллель манипулятор жаңа болып табылады және қозғалыс симуляторы немесе тегістеу, кесу жұмыстарын жасауға қолданылуы мүмкін.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

1. Алты яқты Гауф-Стюарт платформасындағы аяқтар санын алтыдан үшке кеміту арқылы манипулятордың сингулярлық конфигурациясын оңайлату.

2. Ілгерлемелі кинематикалық жұптардың орнына айналмалы кинематикалық жұптарды қолдану арқылы параллель манипулятордың көлденең бағыттағы жұмыс аймағын ұлғайту.

3. Бекітілген платформа жазықтығымен қозғалатын ілгерлемелі кинематикалық жұптарды қолдану арқылы вертикал Z өсі бойынша жұмыс аймағын кеңейту.

Қорғауға ұсынылатын тұжырымдар:

1. Жаңа трипод түрдегі 3-PRRS параллель манипулятордың геометриясы және кері кинематикасы.

2. Жаңа параллель манипулятордың тура кинематикасы және жұмыс аймағы.

3. Жаңа трипод түрдегі параллель манипулятордың сингулярлық талдауы, жылдамдықтың тура және кері кинематикалық есептері.

Жұмыстың апробациясы: Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері келесі халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалып, талқыға салынды және оң баға берілді:

- International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region, RAAD 2019: Advances in Service and Industrial Robotics, «Geometry and Inverse Kinematics of 3-PRRS Type Parallel Manipulator» 08 May 2019, pp 12-18
- International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region, RAAD 2020: Advances in Service and Industrial Robotics, «The First Type of Singularity of a 3-PRRS Parallel Manipulator», 19 June 2020, pp 356-363
- Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE 2019, «Parallel Manipulator of a Class RoboMech with Two End-Effectors», July 3-5, 2019, London, U.K.

- 2nd International Joldasbekov Symposium «Future Mechanics», «Geometry and Inverse Kinematics of 3-PRRS Type Parallel Manipulator», 1-5 March, 2021
- 5th IFToMM Symposium on, Mechanism Design for Robotics, MEDER 2021, «Invers Kinematics and Workspace of a 3- PRRS type parallel manipulator», June 23-25, 2021, Futuroscope-Poitiers, France.
- Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ механика кафедрасының ғылыми семинарлары (Алматы, Қазақстан 2018-2021 ж.ж.).

Жарияланымдар. Диссертация мазмұны бойынша 10 жұмыс жарияланды, солардың ішінде халықаралық конференцияларда 6 (Scopus дерекқорларында индекстелген 3, индекстелмеген 2), Scopus дерекқорында индекстелген журналдарда 2, ҚР Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынатын журналдарда 3.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, қорытындыдан және әдебиеттер тізімінен тұрады.

Кіріспеде зерттелетін мәселенің қазіргі күйі талданды және әдебиеттерге шолу жасалды, тақырыптың өзектілігі негізделді, зерттеу жұмысының мақсаты мен міндеттері, нысаны, пәні қалыптастырылды. Жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижелері, олардың ғылыми жаңалығы, теориялық және тәжірибелік маңыздылығы көрсетілді.

Диссертацияның бірінші тарауында параллель манипулятордың еркіндік дәрежесі анықталды, белгілі Денавит – Хартенберг әдісіне қарағанда трипод түрдегі параллель роботтың геометриясы мен кинематикасын зерттеу үшін әр кинематикалық жұпта бір декарттық координаттар жүйесі емес, екі декарттық координаттар жүйесі қарастырылды. Әр декарттық координаттар жүйесі кинематикалық жұптың әр элементімен қатаң түрде байланысады. Сонда таңдалған координаттар жүйесінің түрлендіру матрицасы Денавит – Хартенберг матрицасы сияқты төрт емес, алты параметрге ие болады. Расында да кеңістіктегі қатты дененің орны алты тәуелсіз параметрлер арқылы анықталады. Осы алты параметрді пайдалана отырып жаңа трипод түрдегі 3-PRRS параллель манипулятордың бинарлық түйіндер мен кинематикалық жұптар матрицалары, негізгі және жергілікті координаттар жүйелері табылды.

Кинематиканың тура есебін шешу кезінде кіріс параметрлерінің мәндері беріледі және сол параметрлерге сәйкес қозғалмалы платформаның орны мен бағдары анықталады. Біздің жағдайда әр аяқтың екі кіріс параметрі s_i , $\theta_{2,i}$ берілді және сфералық топсалардың ара қашықтықтарының тұрақтылық шартынан үш айнымалыға $\theta_{3,i}$ тәуелді, үш теңдеуден тұратын жүйе құрылды. Осы теңдеулер жүйесі бір айнымалыға тәуелді 16-шы дәрежелі полиномға келтірілді. Осылайша кіріс параметрлерінің мәндеріне байланысты параллель манипулятордың қозғалмалы платформасының әр түрлі орналасу жағдайлары анықталды.

Кинематиканың кері есебін шешу кезінде, қозғалмалы платформаның орналасуы, яғни жергілікті координаттар жүйесінің негізгі координаттар

жүйесіне қатысты орны мен бағдары 4×4 өлшемді матрица түрінде беріледі. Екінші жағынан сфералық топсалардың координаталары параллель манипулятордың әр аяғы үшін тұрақты және айнымалы параметрлерге тәуелді функциялар ретінде анықталады. Біздің жағдайда бір аяғы үшін, үш теңдеуден және үш белгісізден тұратын теңдеулер жүйесі құрылды. Белгісіздер ретінде екі кіріс параметрі: гидроцилиндрлердің ілгерлемелі қозғалыс параметрі s_i , қозғалтқыштардың айналмалы қозғалыс параметрлері $\theta_{2,i}$ және пассивті түйіндердің бұрылу бұрыштары $\theta_{3,i}$ қарастырылды ($i=1,2,3$). Бірақ, үш теңдеудің алғашқы екеуі өзара сызықтық тәуелді болғандықтан s_i кіріс параметрлері еркін түрде берілді және екі айнымалыға тәуелді екі теңдеуден $\theta_{2,i}$ және $\theta_{3,i}$ параметрлері анықталды.

Диссертацияның екінші тарауында параллель манипулятордың жұмыс аймағы қарастырылды. Жұмыс аймағын анықтау кезінде параллель манипулятордың аяқтарының қозғалу жазықтықтары анықталды, қозғалмалы платформаның қозғалыс траекториясы сфераға тиісті шеңбер доғасы болатындығы дәлелденді. Жұмыс аймағы кинематиканың тура және кері есептері бойынша табылды. Кинематиканың кері есебі бойынша манипулятордың қозғалмалы платформасының ауырлық центрінің координаталары кеңістіктегі белгілі бір тіктөртбұрышты призманың ішінен берілді және сол нүктелердің манипулятордың жұмыс аймағына тиістілігі тексеріліп, егер тиісті болған жағдайда кеңістікте нүкте қойылып отыратын бағдарлама құрылды. Тура кинематикалық есеп бойынша жұмыс аймағын анықтау кезінде ілгерлемелі кинематикалық жұптардың кіріс параметрлері s_i берілді және айналмалы кинематикалық жұптардың кіріс параметрлері $\theta_{2,i}$ үш цикл бойынша өзгеріп отырған кездегі қозғалмалы платформаның центрі анықталып, кеңістікте нүктелер қойып отыратын бағдарлама құрылды. Осылайша сандық таңдау жасау арқылы параллель манипулятордың жұмыс аймағы анықталды.

Берілген трипод түрдегі параллель манипулятордың ілгерлемелі кіріс параметрлерін, яғни гидроцилиндрлардың штоктарын центрден бірдей ара қашықтықта бекітіп қоятын болсақ $s_1 = s_2 = s_3 = s$, онда манипулятор үш еркіндік дәрежелі толық манипуляторға айналатындығы белгілі, осы жағдайда қозғалмалы платформаның центрінің кеңістіктегі орны X_p, Y_p, Z_p мен бағдарын ψ, θ, φ анықтайтын параметрлердің арасындағы тәуелділіктер ескеріліп, жұмыс аймағы анықталды.

Диссертацияның үшінші тарауында трипод түрдегі параллель манипулятордың аяқтарының контурларының тұйықталу теңдеулерінен Якоби матрицасы құрылды, айналмалы кинематикалық жұптардың шектеу теңдеулері бойынша ол матрицаға толықтыру жасау арқылы, жылдамдықтың тура және кері кинематикалық есептері шешілді, салыстырылды және дұрыстығы тексерілді.

Бұл тарауда параллель роботтың сингулярлық конфигурациясына баса назар аударылды, себебі сингулярлық конфигурацияларда робот еркіндік дәрежесін жоғалтады немесе қосымша еркіндік дәрежесіне ие болады, сондықтан бұл жағдайларда параллель робот басқарылмайды. Параллель роботтың сингулярлық конфигурациялары, қозғалатын платформа мен қозғалтқыштардың жылдамдықтары арасындағы байланысты орнататын, Якоби матрицаларын \mathbf{J}_x және \mathbf{J}_q талдау негізінде анықталды. Якобиандардың әрқайсының \mathbf{J}_x және \mathbf{J}_q немесе олардың екеуінің де сингулярлығына байланысты, параллель роботтың сингулярлық конфигурациясының үш түрі табылды. Сонымен бірге, \mathbf{J}_x кинематиканың тура есебімен, ал \mathbf{J}_q кинематиканың кері есебімен байланысты болатындығы белгілі болды. Жартылай бөлу әдісі бойынша толықтырылған \mathbf{J}_a және \mathbf{J}_r Якоби матрицаларының детерминанттарының нөлге айналған жағдайларын тексеретін бағдарламалар құрылды. Екі матрицаның ψ, θ бұрыштарының бірдей мәндерінде нөлге айналатындығы анықталды және ол мәндерде пассивті түйіндер мен қозғалмалы платформа жазықтықтары параллель немесе оған жақын орналасатындығы белгілі болды.