

УДК 631.362.36:57.087.3

<https://doi.org/10.47533/2024.1606-146X.23>

**Ж. Т. ЖУМАШЕВА, Б. О. АМАНОВ*, С. Ә. ТӨЛЕНОВ, Б. М. САГИТЖАНОВ,
Е. Н. ЖОЛДАСОВ, А. М. ТОЛЕУШОВА, Н. Қ. ДОСМАҒАМБЕТ, З. А. РАХМАТУЛЛА**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
e-mail: zhadyra_14@mail.ru, *bekzat.amanov007@gmail.com, tolenov.serik@mail.ru,
beriksagitzhanov94@gmail.com, jera.kz@mail.ru, aida71193@mail.ru,
nurdauletDOSmagambet@gmail.com, rakhmatulla.zanggar@gmail.com*

АЛТЫ ЕРКІНДІК ДӘРЕЖЕСІ БАР ГУМАНОИД РОБОТТЫҢ ҚОЛЫНЫҢ КИНЕМАТИКАСЫ

Бұл мақалада гуманоид роботтың қолының тікелей және кері кинематикасы шеііледі. Бұл қашықтан басқарылатын элеуметтік робот. Робот манипуляторының кинематикасын зерттеу үшін Денавит-Хартенберг түрлендіру матрицалары алынды. Соңғы орындаушының (қолдың) орны осы матрицаларды көбейту арқылы анықталады. Робот манипуляторының кері кинематикасын зерттеу үшін байланыс бұрыштарын аналитикалық түрде анықтау үшін кері байланыс әдісі қолданылады.

Түйін сөздер: гуманоид, элеуметтік гуманоид, робот, Денавит-Хартенберг.

**Ж. Т. ЖУМАШЕВА, Б. О. АМАНОВ*, С. Ә. ТӨЛЕНОВ, Б. М. САГИТЖАНОВ,
Е. Н. ЖОЛДАСОВ, А. М. ТОЛЕУШОВА, Н. Қ. ДОСМАҒАМБЕТ, З. А. РАХМАТУЛЛА**

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: zhadyra_14@mail.ru, *bekzat.amanov007@gmail.com, tolenov.serik@mail.ru,
beriksagitzhanov94@gmail.com, jera.kz@mail.ru, aida71193@mail.ru,
nurdauletDOSmagambet@gmail.com, rakhmatulla.zanggar@gmail.com*

КИНЕМАТИКА РУКИ ГУМАНОИДНОГО РОБОТА С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

В данной работе решается прямая и инверсная кинематика гуманоидного робота-манипулятора. Это дистанционно управляемый социальный робот. Для исследования кинематики робота-манипулятора были получены матрицы преобразования Денавита-Хартенберга. Положение последнего исполнителя (руки) определяется перемножением этих матриц. Для исследования инверсной кинематики робота-манипулятора используется метод обратной связи для аналитического определения контактных углов.

Ключевые слова: гуманоид, социальный гуманоид, робот, Денавит-Хартенберг.

**ZH. T. ZHUMASHEVA, B. O. AMANOV*, S. A. TOLENOV, B. M. SAGITZHANOV,
E. N. ZHOLDASSOV, A. M. TOLEUSHOVA, N. K. DOSMAGAMBET,
Z. A. RAHMATULLA**

*Al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan
e-mail: zhadyra_14@mail.ru, *bekzat.amanov007@gmail.com, tolenov.serik@mail.ru,
beriksagitzhanov94@gmail.com, jera.kz@mail.ru, aida71193@mail.ru,
nurdauletDOSmagambet@gmail.com, rakhmatulla.zanggar@gmail.com*

KINEMATICS OF A HUMANOID ROBOT ARM WITH SIX DEGREES OF FREEDOM

In this work, the direct and inverse kinematics of a humanoid robotic arm are solved. It is a remote controlled social robot. To study the kinematics of the robot-manipulator, the Den-with-Hartenberg transformation matrices were obtained. The position of the last performer (hand) is determined by multiplying these matrices. To study the inverse kinematics of the robotic arm, the feedback method is used to analytically determine the contact angles.

Key words: humanoid, social humanoid, robot, Denavit–Hartenberg.

Кіріспе. Өнеркәсіптік роботтар өндірістің көптеген салаларында бұрыннан қолданылады. 1990 жылдарда бастап өнеркәсіптік автоматтандыру міндеттерін қоспағанда, адамдар үшін пайдалы жұмыстарды орындайтын сервистік роботтарды әзірлеу басталды, мысалыға, тазалаушы роботтар, гид роботтар, кеңесші роботтар. Мәселен, көмекші роботтар, серіктес роботтар, оңалту роботтар секілді сервистік роботтардың дамуы өз кезегінде адамдармен әлеуметтік қарым-қатынас жасауға қабілетті әлеуметтік роботтардың пайда болуына әкелді [1-9]. Көмекші роботтар негізгі функцияларды орындаумен қатар, көмек көрсету үшін адаммен әлеуметтік өзара әрекеттесуді жүзеге асырады. Мысалы, "i-robot" компаниясының адам тәрізді "AVA" роботы [10] үйді тазалаудан басқа, иесінің денсаулығы туралы ақпарат жинайды және бұл деректерді емдеуші дәрігерге жөнелтіп отырады, Asian Forum for Corrections group робот бақылаушысын [11], қоспағанда сотталғандарды бақылауды, тұтқындар мен бақылаушылар арасындағы делдалдықты орындайды, адам тәрізді Октавия гуманоид роботы [12] өрт сөндіру кезінде өрт сөндірушілермен өзара әрекеттеседі, Robonaut 2 роботы [13] ғарышкерлермен өзара әрекеттесу арқылы NASA халықаралық ғарыш станциясында жұмыс істейді. Оңалту роботтары қарым-қатынас арқылы адамдардың, әсіресе қарттардың психикалық денсаулығын бақылайды, сонымен қатар мүгедектерді қоғамдық өмірге (жұмыс, оқу, қарым-қатынас) бейімдейді. Раго итбалық роботы [14] кеңінен танымал, ол адамдар мен қоршаған ортаны сезініп, оны еркелеткенде сәйкесінше қуаныш эмоциясын көрсетеді. Бұл егде жастағы адамдар мен аурухана пациенттерінде тыныштандыратын әсер мен жағымды эмоциялар тудырады.

Халықаралық еңбек ұйымының мәліметі бойынша, біздің жер шарында 650 миллионға жуық адам мүгедектер қатарында. Кейбір елдерде мүмкіндігі шектеулі адамдардың 80%-ы жұмыссыз. Бұл үлкен мәселе, өйткені адамдардың бұл санаты әлеуметтік өмірден тым алшақта. Бұл мәселені шешудің бір бағыты-қашықтықтан басқарылатын әлеуметтік роботтар арқылы мүгедектерді жұмысқа және қоғамдық өмірге тарту. Мұндай әлеуметтік роботтарды үйде мүмкіндігі шектеулі жандар операторлармен қашықтан басқару арқылы, оларды жұмысқа және қоғамдық өмірге тартады, ал екінші жағынан роботтардың құнын төмендетеді. Офлайн режимде жұмыс істейтін автономды роботтардың шығындарының негізгі бөлігі олардың басқару жүйелерінде болатыны белгілі.

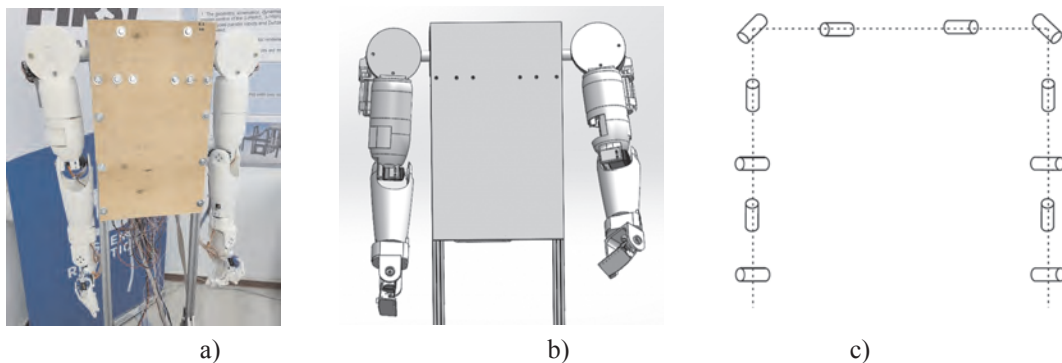
Әлеуметтік робот-мүмкіндігі шектеулі жандарды жұмыспен қамту, сондай-ақ байланыссыз медициналық және басқа да қызметтерді ұсыну үшін пайдаланылатын қашықтан басқарылатын әлеуметтік гуманоидты робот [15]. Бұл жұмыста робот қолының кинематикасының тікелей және кері мәселелері шешіледі.

Тікелей кинематикасы. 1-суретте әлеуметтік гуманоид роботтың дизайны,

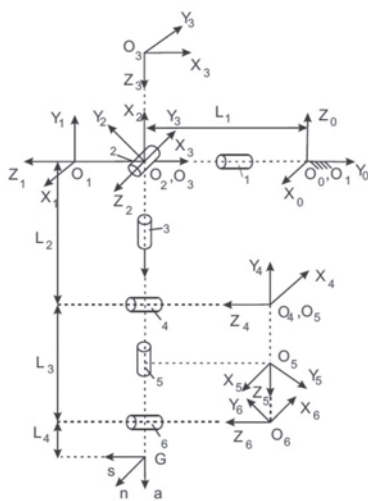
кинематикалық схемасы және де 3D CAD модельдерінің жалпы көрінісі көрсетілген. Әлеуметтік роботтың 20 еркіндік дәрежесі бар [16], оның ішінде басында 2 еркіндік дәрежесі, денесінде 3 еркіндік дәрежесі, қозғалыс механизмінде 3 еркіндік дәрежесі және әр қолы 6 еркіндік дәрежесіне ие. Әрбір 6 еркіндік дәрежесі бар қолдың иық буынында 2 еркіндік дәрежесі, шынтақ буынында 2 еркіндік және білезік буынында 2 еркіндік дәрежесі бар. 2-суретте координаталық жақтаулары бар роботтың оң қолының кинематикалық схемасы көрсетілген.

Координаттар жүйелері келесідей белгіленеді. $O_{B_1} X_{B_1} Y_{B_1} Z_{B_1}$ координаттар жүйесі, мойынның ортасына орналасқан және сілтеме жүйе ретінде қолданылады.

Денавит–Хартенберг (D-H) [17] тәсілі бойынша $X_i Y_i Z_i$ координаттар жүйесінің Z_i осі ($i = 1, 2, \dots, 6$) топсалы қосылыстардың айналу осьтері бойымен бағытталған, X_i осьтері көршілес айналымы қосылыстардың айналу осьтері арасындағы жалпы нормалар бойымен бағытталған. D-H параметрлері екі іргелес координаттар жүйесі арасындағы кеңістіктік байланысты анықтайтын төрт айнымалының жиынтығы. Бұл айнымалылар d_i (Z_i осі бойымен жылжу), θ_i (Z_i осі бойынша айналу), α_i (X_i осі бойынша жылжу) және α_i (X_i осі бойынша айналу). 1-кестеде әлеуметтік роботтың оң қолының D-H параметрлері келтірілген.



1-сурет – Гуманоид роботтың 3D CAD модельдері.



2-сурет – Оң қолдың кинематикалық схемасы.

Көршілес i және $i-1$ координаттар жүйелерінің орналасуы келесі біртекті түрлендіру матрицасымен сипатталады [17]:

$${}^{i-1}\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -c\alpha_i \cdot s\theta_i & s\alpha_i \cdot s\theta_i & \alpha_i \cdot c\theta_i \\ s\theta_i & c\alpha_i \cdot c\theta_i & -s\alpha_i \cdot c\theta_i & \alpha_i \cdot s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots & {}^i\mathbf{R}_{i-1} & \dots & \vdots & {}^i\mathbf{p}_{i-1} \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \vdots & 1 \end{bmatrix},$$

(1) мұнда келесі қысқартулар қолданылады: $c\theta_i = \cos\theta_i$, $s\theta_i = \sin\theta_i$, $c\alpha_i = \cos\alpha_i$, $s\alpha_i = \sin\alpha_i$, ${}^i\mathbf{R}_{i-1}$ айналу матрицасы, позиция векторы 1-кестеде оң қолдың D-H параметрлері көрсетілген. D-H параметрлерін 1-кестеден түрлендіру матрицасына (1) ауыстыру арқылы біз алты матрица аламыз ${}^0\mathbf{A}_1$, ${}^1\mathbf{A}_2$, ${}^2\mathbf{A}_3$, ${}^3\mathbf{A}_4$, ${}^4\mathbf{A}_5$, ${}^5\mathbf{A}_6$.

1-кесте – Оң қолға арналған D-H параметрлері.

i	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	$-90 + \theta_1$	90	0	0
2	$\theta_2 + 90$	-90	0	0
3	$\theta_3 + 90$	90	0	$-L_2$
4	θ_4	90	0	0
5	θ_5	90	0	L_3
6	$90 + \theta_6$	0	L_4	0

Гуманоид роботтың тікелей кинематикасында берілген алты θ_i бұрышы бойынша $O_{B_1} X_{B_1} Y_{B_1} Z_{B_1}$ жүйесінде қолдың жұмыс мүшесінің орны анықталады. Мұны істеу үшін біз келесі матрицалық теңдеуді шығарамыз:

$$\mathbf{A}_6 = \prod_{i=1}^6 {}^{i-1}\mathbf{A}_i = {}^0\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_6 = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_6 & \mathbf{y}_6 & \mathbf{z}_6 & \mathbf{p}_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} & \mathbf{s} & \mathbf{a} & \mathbf{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

мұндағы \mathbf{x}_6 , \mathbf{y}_6 және \mathbf{z}_6 қол жақтауының негізгі осьтері бойындағы бірлік векторлар, ал \mathbf{p}_6 - қолдың иыққа қатысты орналасуын сипаттайтын позиция векторы. Бұл үш бірыңғай векторлар, қолдың бағдарын базалық $O_{B_1} X_{B_1} Y_{B_1} Z_{B_1}$ қатысты координаталар жүйесінде сипаттайды. \mathbf{N} , \mathbf{s} , \mathbf{a} және \mathbf{p} векторлары сәйкесінше қалыпты вектор, сырғанау векторы, жақындау векторы және позиция векторы болып табылады [18]:

$${}^0\mathbf{A}_6 = {}^0\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_6 = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Кері кинематика есебі. Кері кинематика есебінде қолдың жұмыс мүшесінің берілген орнына байланысты алты θ_i бұрыштарын анықтау керек. Манипулятордың

кері кинематикасын шешуде, егер үш қатарлы топса остері бір-біріне параллель болса немесе бір нүктеде қиылысатын болса, жабық пішінді шешімі бар деп саналады [19,20]. Әлеуметтік роботтың иықтарында айналмалы үш ось бір нүктеде қиылысады, сондықтан оның жабық форма түрінде кинематикалық шешімі бар.

Пипер [21] білек координаталар жүйесінің \mathbf{p} позициясының векторы, егер соңғы үш буын бір нүктеде қиылысатын болса, орналасу және бағдарлау ішкі жүйелеріне бөлінетінін көрсетеді. Қосылыстың соңғы үш бұрышы $[\mathbf{n}, \mathbf{s}, \mathbf{a}]$ арқылы анықталады. Осыны қолдана отырып, қолды қарама-қарсы бағытта қарастырсақ соңғы үш буын иықты құрайды. Бұл жаңа позиция векторы \mathbf{p}' тек θ_4, θ_5 және θ_6 бұрыштарының функциясы болып табылады. (2) теңдеудің кері әдісін жазамыз:

$${}^0\mathbf{A}_6^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} & \mathbf{s} & \mathbf{a} & \mathbf{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}' & \mathbf{s}' & \mathbf{a}' & \mathbf{p}' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^6\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0 = {}^6\mathbf{A}_0, \quad (4)$$

${}^{i-1}\mathbf{A}_i$ кері матрицаларын қолдана отырып, (4) теңдеуді келесідей жазуға болады:

$$\begin{bmatrix} n'_x & s'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & s'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & s'_z & a'_z & p'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^6\mathbf{A}_0 = {}^6\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0 \quad (5)$$

(4) теңдеудің екі жағын ${}^5\mathbf{A}_6$ матрицасына көбейту арқылы соңғы үш бұрышты есептеу үшін кері түрлендіру әдісін қолдана аламыз:

$${}^5\mathbf{A}_6 \cdot {}^0\mathbf{A}_6^{-1} = {}^5\mathbf{A}_6 \cdot {}^6\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0. \quad (6)$$

Немесе

$${}^5\mathbf{A}_6 \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{n}' & \mathbf{s}' & \mathbf{a}' & \mathbf{p}' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^5\mathbf{A}_0. \quad (7)$$

(7) теңдеудің сол жағы

$$\mathbf{A}^{LHS} = {}^5\mathbf{A}_6 \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{n}' & \mathbf{s}' & \mathbf{a}' & \mathbf{p}' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & L_4 C_6 \\ S_6 & C_6 & 0 & L_4 S_6 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n'_x & s'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & s'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & s'_z & a'_z & p'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(7) теңдеудің оң жағы

$$\mathbf{A}^{RHS} = {}^5\mathbf{A}_0 = {}^5\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0 = \begin{bmatrix} a_{511} & a_{512} & a_{513} & a_{514} \\ a_{521} & a_{522} & a_{523} & a_{524} \\ a_{531} & a_{532} & a_{533} & a_{534} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

(8) және (9) теңдеулердің соңғы бағандарын теңестіру арқылы соңғы үш бұрышты анықтай аламыз

$$\theta_4 = \text{atan2}(\pm\sqrt{1-C_4^2}, C_4), \quad (10)$$

$$\theta_5 = \operatorname{atan}2(S_5, \pm\sqrt{1-S_5}) . \quad (11)$$

$$\theta_6 = \operatorname{atan}2(-C_4L_2 - L_3, S_4C_3L_2) - \psi . \quad (12)$$

мұндағы

$$C_4 = \frac{(p'_x + L_4)^2 + (p'_y)^2 + (p'_z)^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} , \quad (13)$$

$$S_5 = \frac{p'_x}{S_4L_2} = \pm \frac{p'_x}{\sqrt{1-C_4^2}L_2} , \quad (14)$$

$$\psi = \operatorname{atan}2(p'_y, p'_x + L_4) , \quad (15)$$

θ_1 , θ_2 және θ_3 бұрыштарын шешу үшін (5) теңдеудің екі бөлігін де ${}^3\mathbf{A}_4$, ${}^4\mathbf{A}_5$, ${}^5\mathbf{A}_6$ матрицаларына көбейтеміз. Бұл теңдеудің сол жағы тең болатын теңдеуге әкеледі:

$$\mathbf{A}^{LHS} = {}^3\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_6 \cdot \begin{bmatrix} n'_x & s'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & s'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & s'_z & a'_z & p'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{411} & a_{412} & a_{413} & a_{414} \\ a_{421} & a_{422} & a_{423} & a_{424} \\ a_{431} & a_{432} & a_{433} & a_{434} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} , \quad (16)$$

ал теңдеудің оң жағы:

$$\mathbf{A}^{RHS} = {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0 = {}^3\mathbf{A}_0 = \begin{bmatrix} C_1C_2C_3 - S_1S_3 & C_1S_3 + C_2S_3S & C_3S_2 & 0 \\ -C_1S_2 & -S_1S_2 & C_2 & L_2 \\ C_3S_1 + C_1C_2S_3 & C_2S_1S_3 - C_1C_3 & S_2S_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

(16) және (17) теңдеулерінен (2,3) элементін теңестіру арқылы біз θ_2 бұрышын анықтаймыз:

$$C_2 = a'_x(S_4C_5C_6 - C_4S_6) - a'_y(C_4C_6 + S_4C_5S_6) + a'_zS_4S_5 , \quad (18)$$

$$\theta_2 = \operatorname{atan}2(\pm\sqrt{1-C_2^2}, C_2) . \quad (19)$$

Сол және оң жақтағы матрицалардың (1,3) және (3,3) элементтерін салыстыру арқылы θ_3 бұрышын анықтаймыз:

$$\frac{S_3}{C_3} = \frac{a''_xS_5C_6 - a''_yS_5C_6 - a''_zC_5}{a''_x(S_4S_6 + C_4C_5C_6) + a''_y(S_4C_6 - C_4C_5S_6) + a''_zC_4S_5} , \quad (20)$$

$$\theta_3 = \operatorname{atan}2(g_{433}, g_{431}) . \quad (21)$$

Сол және оң жақтағы матрицалардың (2,1) және (2,2) элементтерін салыстыру арқылы біз θ_1 бұрышын анықтаймыз

$$\frac{-S_1}{-C_1} = \frac{s'_x(S_4C_5C_6 - C_4S_6) - s'_y(C_4C_6 + S_4C_5S_6) + s'_zS_4S_5}{n'_x(S_4C_5C_6 - C_4S_6) - n'_y(C_4C_6 + S_4C_5S_6) + n'_zS_4S_5}, \quad (22)$$

$$\theta_1 = \text{atan2}(-g_{422}, -g_{412}). \quad (23)$$

Қорытынды. Әлеуметтік гуманоид роботтың қолының кинематикасының тікелей және кері есептерінің шешу әдістері жасалды. Бұл робот қашықтан басқарылады және байланыссыз медициналық және басқа қызметтерді орындау үшін қолданылады. Роботтың әр қолының алты еркіндік дәрежесі бар. D-H әдісі негізінде іргелес кинематикалық жұптардың түрлендіру матрицалары шығарылды. Тікелей кинематика D-H матрицаларын көбейту арқылы шешіледі. Кинематиканың кері есебін шешу үшін кері байланыс әдісі қолданылады. Бұл жағдайда соңғы үш буынның айналу осьтері бір нүктеде қиылысады және кинематиканың кері мәселесін шешу аналитикалық жабық түрде жүзеге асырылады.

Растау: Бұл зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғарғы Білім министрлігінің Ғылым комитетінің гранты (Грант No AP14872115) бойынша орындалды.

ӘДЕБИЕТ

1 Hegel F., et. al. Understanding Social Robots. Second International Conference on Advances in Computer – Human Interactions, IEEE, pp.169-174 (2009).

2 Duffy B.R., Rooney C, O’Hare G.M, O’Donoghue R. What is a Social Robot? 10 th Irish Conference on Artificial Intelligence amp; Cognitive Science, University College Cork, Irland, 1-3 September, pp. 96-118 (1999).

3 Young J.E, et. al. Evaluating Human – Robot Interacting, International Journal of Social Robots, Vol. 3, No. 1, pp. 53-67 (2011).

4 Breazeal C. Social Interactions in HRI: The Robot View Systems, Man, and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews, 34, No. 2, pp. 143-166.

5 Fong I, Nourbakhsh I., Dautenkahn K.A Survey of Socially Interactive Robots. Robotics and Automation Systems, Vol.42, No. 3, pp-143-166 (2003).

6 Brazeal C. Toward Sociable Robots. Robotics and Automation Systems, Vol. 42, No. 3, pp-167-175.

7 De Graaf M.M.A., Alltouch S.B., van Dijk J. What Makes Robot Social? A User’s Perspective on Characteristics for Social Human – Robot Interaction. Social Robotics. Springer, pp. 184-193 (2015).

8 Engelhardt K.G., Edwards R.A. Humanrobot Integration for Service Robotics. Human- Robot Interaction. London, pp. 315-346 (1992).

9 Yang S. et. al. Experiences Developing Socially Acceptable Interactions for a Robotic Trash Barrel. Robot and Human Interactive Communication (ROMAN), 24-th IEEE International Symposium, pp. 277-284 (2015).

10 AVA Overview Irobot, <http://www.irobot.com/ava>.

11 Bloss R. Robots Go to Prison – as Guards. An International Journal Industrial Robots. Vol. 39, pp. 148-158 (2012).

12 Martinson E. et. al. Fighting Fires with Human Robot Teams. IEEE / RSJ International Conference on Intelligent. Robots and Systems, pp. 2682 – 2683 (2012).

13 Diftler M.A., et. al. Robonaut2 – The First Humanoid Robot in Space. Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference, pp 2178-2183 (2011).

14 Sabanovis S., et. al. Paro Robot Affects Divers Interaction Modalities in Group Sensory Therapy For Older Adult with Dementia. Rehabilitation Robotics (ICORR), IEEE International Conference, pp. 1-6 (2013).

15 Zhumadil Baigunchekov, Zhadyra Zhumasheva, Bekzat Amanov, Ernar Zholdasov, Berik Sagitzhanov, Alibek Tleukhanov. Robotic System for Employment of People with Disabilities. Int. Journal “Advances in Robotics & Mechanical Engineering” (2020).

16 Zhumadil Baigunchekov, Patel Sarosh, et al. Social Humanoid robot “Ai-Gerim”. Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Control Automation and Robotics. April 23-26, 2021, Singapore (ICCAR 2021).

17 J. Denavit and R.S. Hartenberg. A Kinematic Notation for Lower -Pair Mechanisms Based on Matrices. Trans ASME j. April. Mech.23, pp. 215-221 (1955).

18 K.S. Fu, R.S. Gonzalez, C.S.G. Lee. Robotics: Control, Sensing, Vision and intelligence. McGraw-Hill Book company, (1988).

19 Hyungju Andy Park, Muhammad Ahmad Ali and C.S. George Lee. Closed -Form Inverse Kinematic Position Solution for Humanoid Robots. Int. journal of Humanoid Robotics. Vol.9, No.3 1250022 (28 pages) (2012).

20 Fabrice Inverse Kinematics for a Humanoid Robot : a Mix Between Closed Form and Geometric Solutions. Technical Report, May 2017.

REFERENCES

1 Hegel F., et. al. Understanding Social Robots. Second International Conference on Advances in Computer – Human Interactions, IEEE, pp.169-174 (2009).

2 Duffy B.R., Rooney C, O’Hare G.M, O’Donoghe R. What is a Social Robot? 10 th Irish Conference on Artificial Intelligence amp; Cognitive Science, University College Cork, Irland, 1-3 September, pp. 96-118 (1999).

3 Young J.E, et. al. Evaluating Human – Robot Interacting, International Journal of Social Robots, Vol. 3, No. 1, pp. 53-67 (2011).

4 Breazeal C. Social Interactions in HRI: The Robot View Systems, Man, and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews, 34, No. 2, pp. 143-166.

5 Fong I, Nourbakhsh I., Dautenkahn K.A Survey of Socially Interactive Robots. Robotics and Automation Systems, Vol.42, No. 3, pp-143-166 (2003).

6 Brazeal C. Toward Sociable Robots. Robotics and Automation Systems, Vol. 42, No. 3, pp-167-175.

7 De Graaf M.M.A., Alltouch S.B., van Dijk J. What Makes Robot Social? A User’s Perspective on Characteristics for Social Human – Robot Interaction. Social Robotics. Springer, pp. 184-193 (2015).

8 Engelhardt K.G., Edwards R.A. Humanrobot Integration for Service Robotics. Human- Robot Interaction. London, pp. 315-346 (1992).

9 Yang S. et. al. Experiences Developing Socially Acceptable Interactions for a Robotic Trash Barrel. Robot and Human Interactive Communication (ROMAN), 24-th IEEE International Symposium, pp. 277-284 (2015).

10 AVA Overview Irobot, <http://www.irobot.com/ava>.

11 Bloss R. Robots Go to Prison – as Guards. An International Journal Industrial Robots. Vol. 39, pp. 148-158 (2012).

12 Martinson E. et. al. Fighting Fires with Human Robot Teams. IEEE / RSJ International Conference on Intelligent. Robots and Systems, pp. 2682 – 2683 (2012).

13 Diftler M.A, et. al. Robonaut2 – The First Humanoid Robot in Space. Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference, pp 2178-2183 (2011).

14 Sabanovis S., et. al. Paro Robot Affects Divers Interaction Modalities in Group Sensory Therapy For Older Adult with Dementia. Rehabilitation Robotics (ICORR), IEEE International Conference, pp. 1-6 (2013).

15 Zhumadil Baigunchekov, Zhadyra Zhumasheva, Bekzat Amanov, Ernar Zholdasov, Berik Sagitzhanov, Alibek Tleukhanov. Robotic System for Employment of People with Disabilities. Int. Journal “Advances in Robotics & Mechanical Engineering” (2020).

16 Zhumadil Baigunchekov, Patel Sarosh, et al. Social Humanoid robot “Ai-Gerim”. Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Control Automation and Robotics. April 23-26, 2021, Singapore (ICCAR 2021).

17 J. Denavit and R.S. Hartenberg. A Kinematic Notation for Lower -Pair Mechanisms Based on Matrices. Trans ASME j. April. Mech.23, pp. 215-221 (1955).

18 K.S. Fu, R.S. Gonzalez, C.S.G. Lee. Robotics: Control, Sensing, Vision and intelligence. McGraw-Hill Book company, (1988).

19 Hyungju Andy Park, Muhammad Ahmad Ali and C.S. George Lee. Closed -Form Inverse Kinematic Position Solution for Humanoid Robots. Int. journal of Humanoid Robotics. Vol.9, No.3 1250022 (28 pages) (2012).

20 Fabrice Inverse Kinematics for a Humanoid Robot : a Mix Between Closed Form and Geometric Solutions. Technical Report, May 2017.