

## АЛГОРИТМИ ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ДВИЖЕНИЯТА НА РОБОТИ СЪС ЗАТВОРЕНА СТРУКТУРА ЗАПОМОЩ В ЗДРАВЕОПАЗВАНЕТО

Пламен Райков, Нина Вълчкова, Роман Захариев  
[plamen.raykov@abv.bg](mailto:plamen.raykov@abv.bg); [nvalchkova@abv.bg](mailto:nvalchkova@abv.bg); [roman.zahariev@robotic.bg](mailto:roman.zahariev@robotic.bg);

Българска Академия на Науките - Институт по Роботика  
София, 1113, ул. ”Акад. Г. Бончев” бл. 1

**Резюме:** В статията е описан компютърно-ориентиран механо-математичен подход, за изследване движенията на затворени многоподвижни механизми, каквито са роботите със затворена структура, предназначени за обслужване на пациенти в здравеопазването. Този подход не налага ограничение върху броя на звената, броя на затворените контури на изследвания механизъм, броя и избора на задвижващите звена, както и вида и големината на наложените ставни ограничения. Описаните алгоритми са приложими, както при решаване на правата задача, така и при решаване на обратната задача на кинематиката, когато е зададена целевата функция на изпълнителното звено. Така се гарантира висока точност на позициониране на изпълнителното звено, необходима при реализацията на движения за изпълнение на целевата функция при обслужването от роботи на пациенти в здравеопазването. целевата функция при обслужването на пациентите.

**Ключови думи:** Алгоритъм за моделиране на движението на манипулатори, Механизми и Роботи със затворена структура.

### I. ВЪВЕДЕНИЕ

Светът е поставен пред ново предизвикателство, а именно пандемията от коронавирус COVID-19 и научния потенциал се включи активно за намиране на методи и средства за ограничаване на заразата и преодоляването ѝ. Една от основните задачи е да се създадат условия, в които хората на първа линия в борбата с вируса (лекари, медицински сестри, санитарии и пр.) да бъдат заместени от роботи при някои рутинни дейности, с което ще се намали риска от зараза. Развитие на сервизната роботика позволява да се търси решение за робот асистент в здравеопазването, но дейностите в тази област са много и разнообразни, а универсалният сервизен робот все още е недостатъчно развит (твърде

скъп), затова предлагаме разработване на Методология за определяне на функционалните параметри на мобилен сервизен робот асистент в здравеопазването, на чиято база ще се търсят решения за специализирани роботи, в зависимост от потребностите за роботизация на конкретен процес. За тази задача ще ползваме натрупаните знания в областта на роботиката и най-вече в сервизните роботи, които са в помощ на хора в неравностойно положение. Те имат за цел да подпомогнат тази група хора и да осигурят техния независим живот, като заместят човека придружител. Подобно на нуждите в медицината проблемите при хората в неравностойно положение са специфични и разделянето им по критерии не може да обхване нуждите на всеки един от тях. Ето защо проектирането на роботизиран асистент в здравеопазването е специфична задача и трябва да се прецизира в съответствие с индивидуалните потребности на всеки инвалид или човек изпаднал в затруднено положение. Това решение ще е скъпо струващо и намирането на универсалност е в процеса на повишаване на манипулативността, мобилността и адаптивността на сервизните роботи. Аналитичните методи за изчисляване координатите на характерни точки от кинематични двоици, свързващи звената на механизми със затворена структура, (векторни, матрични, винтови, координатни и др.) са единствените, които позволяват създаването на бързи и достатъчно точни компютърни програми за моделиране на движенията на механизмите.

За съжаление обаче директното пренасяне на най-разпространените при изследването на

отворени кинематични вериги векторни [1, 4] и матрични [2, 7, 8] методи е невъзможно, тъй като те са основани на използването на обратни тригонометрични функции, което води до многозначност на математическия модел. Аналогични недостатъци имат и методите, основани на разделянето на затворения механизъм на няколко отворени групи чрез "разкъсване" на една или повече кинематични двойки [4].

Най-перспективен аналитичен метод за изследване на механизми, съдържащи затворени структури, е координатния метод. Той се основава на геометрични зависимости между декартовите координати  $(x_i, y_i)$  и  $(x_j, y_j)$  на центровете на кинематичните двойки  $A_i$  и  $A_j$ , записани най-често във вида:

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 = L_{ij}^2,$$

където  $L_{ij}$  е дължината на отсечката, която съединява двата центъра. Неизвестните координати се изразяват посредством известни дължини и неизвестни ъгли и от решението на получената система се определят неизвестните ъгли. Тоест, вместо решаване на системата директно спрямо неизвестните координати, в нея допълнително се влагат тригонометрични функции, което я доближава до системите уравнения, получавани при прилагането на векторните методи.

Като най-близки до предлагания подход са изследванията, описани в [3]. Поради факта, че кинематичната структура не се редуцира посредством логическо отстраняване на водещите звена, сложността на получената аналитична система налага авторите да използват приблизителен метод за определяне на неизвестните координати дори и в случаи, в които е възможно използването на точно решение. Същият недостатък имат и съществуващите до момента автоматизирани методи за описание движенията на звената на механизми на базата на автоматично генериране на уравненията на движение. Те отразяват тенденцията в изследването на механизмите, която се базира на използване на специализирани програмни пакети, работещи на

мощни работни станции, с универсално приложение при изследването и проектиране на механизми. За съжаление обаче такива програмни продукти имат висока цена и са неподходящи за оборудване на работни места в малки и средни по големина конструкторски колективи.

За целта са изследвани основните типове статически определими структурни модули, съгласно класификацията въведена от Асур и наричани по-нататък Асурови групи от съответен клас. Посредством въвеждане на едно или повече задвижващи звена към тези модули е възможно получаването на цялото многообразие от известните лостови механизми с низши кинематични двойки.

## II. МАТЕМАТИЧЕСКО ОПИСАНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Необходимите основни модули за съставяне на такъв пакет могат да бъдат разделени на два основни типа: изчислителни методи за определяне на координатите на характерни точки на Асуровите групи и помощни модули за определяне реално възможните решения, изпълняващи условията на конкретната конструкция (ставни ограничения, пресичане на звена и подобни).

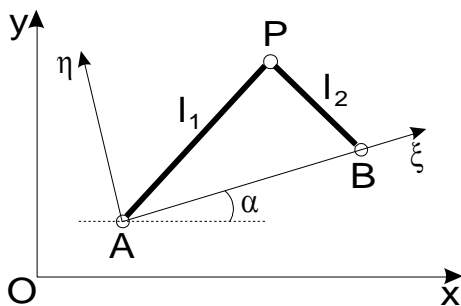
*A. Изчисляване на координатите на характерни точки от Асурови групи от II и III клас.*

1.) Асурова група от II клас с ротационни двойки.

При известни координати на точките  $A(x_A, y_A)$ ,  $B(x_B, y_B)$  и дължини на рамената  $AP = l_1$ ,  $BP = l_2$  е възможно аналитично да се намерят координатите на точката  $P$  (фиг.1).

За минимизиране на изчислителните операции се въвежда локална дясна координатна система  $A\xi\eta$  с център в точката  $A$  и абсцисна ос, минаваща през точката  $B$ . Ако се обозначат координатите на точката  $B$  в локалната координатна система с  $\xi_B$  и  $\eta_B$ , то:

$$\left\| \begin{array}{l} \xi_B = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \\ \eta_B = 0 \end{array} \right.$$



Фиг. 1. Асурова група от II клас с ротационни двоици.

Нека координатите на точката P в системата  $A\xi\eta$  са  $\xi_P$  и  $\eta_P$ . Проекционните уравнения върху локалните координатни оси са:

$$\begin{cases} l_1^2 = \xi_P^2 + \eta_P^2 \\ l_2^2 = (\xi_P - \xi_B)^2 + \eta_P^2, \end{cases}$$

от които може да се определи:

$$\begin{cases} \xi_P = \frac{l_1^2 - l_2^2 + \xi_B^2}{2\xi_B} \\ \eta_P = \pm \sqrt{l_1^2 - \xi_P^2}. \end{cases}$$

Чрез формулите за смяна на координатната система се намират координатите  $x_P$  и  $y_P$  на точката P в координатната система  $Oxy$ :

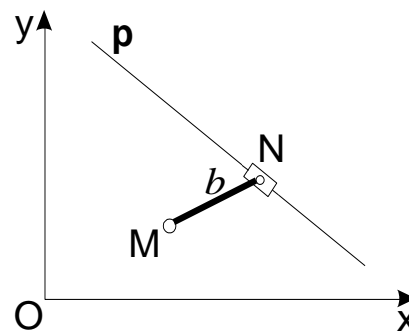
$$\begin{cases} x_P = x_A + \xi_P \frac{x_B - x_A}{\xi_B} \mp \eta_P \frac{y_B - y_A}{\xi_B} \\ y_P = y_A + \xi_P \frac{y_B - y_A}{\xi_B} \pm \eta_P \frac{x_B - x_A}{\xi_B}. \end{cases}$$

2.) Асурова група от II клас с външна транслационна двоица.

Дадени са координатите на точката  $M(x_M, y_M)$ , дължината на звеното  $MN = b$  и уравнението на правата  $p: Ax + By + C = 0$ . Звеното  $MN$  е свързано с правата  $p$  чрез плъзгаща двоица (фиг.3).

Ако се означат координатите на точката N с  $x_N$  и  $y_N$ , то от системата уравнения:

$$\begin{cases} Ax_N + By_N + C = 0 \\ (x_N - x_M)^2 + (y_N - y_M)^2 = b^2 \end{cases}$$



Фиг. 2. Асурова група от II клас с външна транслационна двоица.

се получават решенията

$$\begin{cases} x_N^{1,2} = \frac{-G \pm \sqrt{G^2 - 4FH}}{2F} \\ y_N^{1,2} = -\frac{Ax_N^{1,2} + C}{B}, \end{cases}$$

където

$$F = A^2 + B^2$$

$$G = 2(AB y_M - B^2 x_M + AC)$$

$$H = B^2(x_M^2 + y_M^2 - b^2) + 2BC y_M + C^2.$$

Когато правата  $p$  е успоредна на оста  $Oy$  ( $B = 0$ ), решението добива вида:

$$\begin{cases} x_N = -\frac{C}{A} \\ y_N^{1,2} = \frac{-G' \pm \sqrt{G'^2 - 4F'H'}}{2F'}, \end{cases}$$

където

$$F' = A^2$$

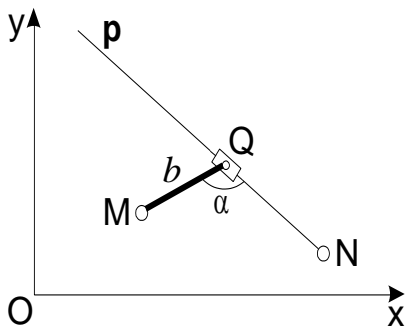
$$G' = -2A^2 y_M$$

$$H' = A^2(x_M^2 + y_M^2 - b^2) + 2AC x_M + C^2.$$

3.) Асурова група от II клас с вътрешна транслационна двоица.

За Асурова група от II клас с вътрешна транслационна двоица се счита, че са дадени координатите на точките  $M(x_M, y_M)$ ,  $N(x_N, y_N)$ , като през точката N минава права  $p$ , минаваща през точката  $Q(x_Q, y_Q)$  и сключваща постоянен

ЪГЪЛ  $\alpha$  СЪС ЗВЕНОТО MQ ( $MQ = b$ ) - фиг. 4. Трябва да се определят координатите на точката Q.



Фиг. 3. Асурова група от II клас с вътрешна транслационна двоица.

Намират се разстоянията:

$$\begin{cases} MN = \sqrt{(x_M - x_N)^2 + (y_M - y_N)^2} \\ NQ = \frac{MN \sin \gamma}{\sin \alpha}, \end{cases}$$

където:

$$\gamma = \angle NMQ = 180 - (\alpha + \beta), \quad \beta = \angle MNQ$$

За намиране на координатите на точката Q се прилага същия метод, който се използва при Асурова група от втори клас с ротационни модули (случай II.A.1).

#### 4.) Асурова група от III клас.

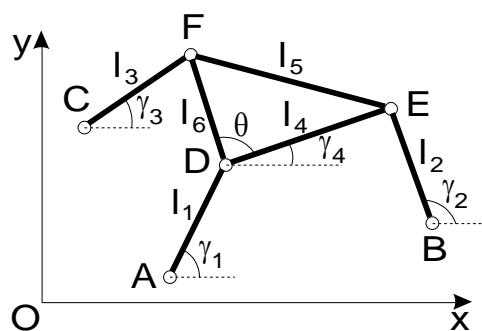
За Асурова група от трети клас може да се счита, че са зададени дължините на звената  $l_i$  ( $i=1, 2, \dots, 6$ ) и координатите на центровете на шарнирите A( $x_A, y_A$ ), B( $x_B, y_B$ ) и C( $x_C, y_C$ ) (фиг. 5). Целта, която се поставя е определяне на координатите на точките E, F, и D.

Проектирайки двете векторни уравнения  $\overline{AD} + \overline{DE} = \overline{AB} + \overline{BE}$  и  $\overline{AD} + \overline{DF} = \overline{AC} + \overline{CF}$  върху осите Oх и Oу и се означат ъглите, които четирите звена на групата сключват с оста Oх с  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  се получават четири скаларни уравнения от вида:

$$\begin{cases} l_1 \cos \gamma_1 + l_4 \cos \gamma_4 = x_B - x_A + l_2 \cos \gamma_2 \\ l_1 \sin \gamma_1 + l_4 \sin \gamma_4 = y_B - y_A + l_2 \sin \gamma_2 \\ l_1 \cos \gamma_1 + l_6 \cos(\gamma_4 + \theta) = x_C - x_A + l_3 \cos \gamma_3 \\ l_1 \sin \gamma_1 + l_6 \sin(\gamma_4 + \theta) = y_C - y_A + l_3 \sin \gamma_3 \end{cases} \quad (1)$$

спрямо неизвестните  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ , където  $\theta$  се намира по формулата:

$$\theta = \arccos \frac{l_4^2 + l_6^2 - l_5^2}{2l_4 l_6}.$$



Фиг. 4. Асурова група от III клас.

От уравненията (1) следва, че:

$$\begin{cases} \cos \gamma_2 = \frac{l_1 \cos \gamma_1 + u_1}{l_2}, \quad \sin \gamma_2 = \frac{l_1 \sin \gamma_1 + u_2}{l_2}, \\ \cos \gamma_3 = \frac{l_1 \cos \gamma_1 + u_3}{l_3}, \quad \sin \gamma_3 = \frac{l_1 \sin \gamma_1 + u_4}{l_3}, \end{cases} \quad (2)$$

където

$$\begin{cases} u_1 = l_4 \cos \gamma_4 - d_1, \quad u_2 = l_4 \sin \gamma_4 - d_2 \\ u_3 = l_6 \cos(\gamma_4 + \theta) - d_3, \quad u_4 = l_6 \sin(\gamma_4 + \theta) - d_4; \end{cases} \quad (3)$$

$$d_1 = x_B - x_A, \quad d_2 = y_B - y_A, \quad d_3 = x_C - x_A, \quad d_4 = y_C - y_A.$$

На основата на тъждеството

$$\sin^2 \gamma_i + \cos^2 \gamma_i = 1 \quad (i = 2, 3) \text{ от системата (2) се получава системата:}$$

$$\begin{cases} 2l_1(u_1 \cos \gamma_1 + u_2 \sin \gamma_1) + u_5 = 0, \\ 2l_1(u_3 \cos \gamma_1 + u_4 \sin \gamma_1) + u_6 = 0, \end{cases} \quad (4)$$

където

$$u_5 = u_1^2 + u_2^2 + d_5, \quad u_6 = u_3^2 + u_4^2 + d_6; \quad (5)$$

$$d_5 = l_1^2 - l_2^2, \quad d_6 = l_1^2 - l_3^2. \quad (6)$$

От системата (4) се намират

$$\cos \gamma_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad \sin \gamma_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad (7)$$

където

$$\Delta = 2l_1(u_1 u_4 - u_2 u_3), \quad (8)$$

$$\Delta_1 = u_2 u_6 - u_4 u_5, \quad \Delta_2 = u_3 u_5 - u_1 u_6.$$

Като резултат от тези преобразувания и след прилагане на тъждеството  $\sin^2 \gamma_1 + \cos^2 \gamma_1 = 1$  се получава уравнение с едно неизвестно  $\gamma_4$ :

$$F(\gamma_4) \equiv \Delta_1^2 + \Delta_2^2 - \Delta^2 = 0. \quad (9)$$

Въз основа на равенствата (8) функцията  $F(\gamma_4)$  може да се запише по следния начин:

$$F(\gamma_4) = u_7(u_8 + d_6)^2 + u_8(u_7 + d_5)^2 - 4l_1^2(u_7 u_8 - u_9^2) - 2u_9(u_7 + d_5)(u_8 + d_6), \quad (10)$$

където

$$u_7 = u_1^2 + u_2^2 = -2l_4(d_1 \cos \gamma_4 + d_2 \sin \gamma_4) + l_4^2 + d_1^2 + d_2^2, \\ u_8 = u_3^2 + u_4^2 = -2l_6[d_3 \cos(\gamma_4 + \theta) + d_4 \sin(\gamma_4 + \theta)] + l_6^2 + d_3^2 + d_4^2, \\ u_9 = u_1 u_3 + u_2 u_4 = l_4(l_6 - d_3) \cos \gamma_4 - l_4 d_4 \sin \gamma_4 - \\ - l_6 [d_1 \cos(\gamma_4 + \theta) + d_2 \sin(\gamma_4 + \theta)] + d_1 d_3 + d_2 d_4.$$

Тъй като  $u_7$ ,  $u_8$ , и  $u_9$  и зависят линейно от  $\sin \gamma_4$ ,  $\cos \gamma_4$ .

От (10) следва, че функцията  $F(\gamma_4)$  е тригонометричен многочлен от вида:

$$F = A_1 z^3 + A_2 z^2 v + A_3 z^2 + A_4 z v + A_5 z + A_6 v + A_7, \quad (11)$$

където  $z = \sin \gamma_4$ ,  $v = \cos \gamma_4$ , а  $A_1, A_2, \dots, A_7$  са коефициенти, зависещи само от  $12^{\text{те}}$  зададени параметъра на групата.

За намирането на коефициентите на полинома (11) се използва следният метод [4]:

1. На аргумента  $\gamma_4$  се присвояват седем произволни значения и се изчисляват съответните седем стойности на функцията  $F(\gamma_4)$  с помощта на описания по-горе алгоритъм.

2. Замествайки тези седем значения на ъгъла  $\gamma_4$  и намерените стойности на функцията  $F$  в равенството (11), се решава получената система от седем линейни уравнения относно неизвестните  $A_1, A_2, \dots, A_7$ .

С цел да се опростят изчисленията се взимат такива стойности на ъгъла  $\gamma_4$ , че техните синуси и косинуси да имат сравнително прости стойности, например: 0 и 1; 0 и -1; 1 и 0; -1 и 0; 0,6 и 0,8; 0,6 и -0,8; -0,6 и 0,8. В този случай получената система линейни уравнения се решава лесно относно неизвестните. За така зададените значения на ъгъла  $\gamma_4$  се получава системата

$$\left\{ \begin{aligned} A_7 &= \frac{1}{2}(F_1 + F_2), \quad A_6 = \frac{1}{2}(F_1 - F_2), \quad A_3 = \frac{1}{2}(F_3 + F_4 - F_1 - F_2), \\ A_1 &= \frac{5}{96}[16(F_1 + F_2) + 24F_3 - 6F_4 - 25(F_5 + F_6)], \\ A_5 &= \frac{1}{2}(F_3 - F_4) - A_1, \\ A_4 &= \frac{1}{24}[9(F_3 + F_4) - 25(F_6 + F_7) + 32A_7], \\ A_2 &= \frac{5}{72}[-36F_1 + 4F_2 - 9(F_3 + F_4) + 25(F_5 + F_7)], \end{aligned} \right. \quad (12)$$

където  $F_k = F(\gamma_4^k)$  е  $k$ -тата изчислена стойност на функцията  $F(\gamma_4)$  ( $k=1, 2, \dots, 7$ ).

Въз основа на (11) и на тъждеството  $z^2 + v^2 = 1$  тригонометричното уравнение (9) може да се запише във вид на следното алгебрично (относно неизвестното  $z$ ) равенство:

$$R_1^2 = (1 - z^2)R_2^2, \quad (13)$$

където

$$R_1 = A_1 z^3 + A_3 z^2 + A_5 z + A_7, \quad R_2 = A_2 z^2 + A_4 z + A_6. \quad (14)$$

От (13) се вижда, че всеки реален корен на уравнението (ако се изключи от разглеждане особения случай, когато  $R_1(z) = R_2(z) = 0$ ) удовлетворява условието:

$$-1 \leq z \leq 1.$$

Уравнението (13) може да се преобразува във вида

$$\Phi(z) \equiv B_0 z^6 + B_1 z^5 + B_2 z^4 + B_3 z^3 + B_4 z^2 + B_5 z + B_6 = 0, \quad (15)$$

където:

$$\begin{cases} B_0 = A_1^2 + A_2^2, & B_1 = 2(A_1A_3 + A_2A_4), \\ B_2 = A_3^2 + A_4^2 - A_2^2 + 2A_1A_5 + 2A_2A_6, \\ B_3 = 2(A_3A_5 + A_4A_6 + A_1A_7 - A_2A_4), \\ B_4 = A_5^2 + A_6^2 - A_4^2 + 2A_3A_7 - 2A_2A_6, \\ B_5 = 2(A_5A_7 - A_4A_6), & B_6 = A_7^2 - A_6^2. \end{cases}$$

По този начин задачата се свежда към решаване на алгебричното уравнение (14), което е от 6<sup>-та</sup> степен, тоест към намиране на корените на полинома  $\Phi(z)$ . Както бе показано по-горе, винаги лежат в интервала  $[-1, 1]$ . Стойностите на функцията  $\Phi(z)$  в крайните точки на този интервал удовлетворяват неравенствата

$$\Phi(-1) \geq 0, \quad \Phi(1) \geq 0,$$

тъй като  $\Phi(\pm 1) = (A_1 \pm A_3 \pm A_5 \pm A_7)^2$ .

Броят  $K$  на реалните корени на уравнението от 6<sup>-та</sup> степен (14) е не по-голям от 6. Обикновено  $K$  приема стойности 0, 2, 4 или 6, тъй като броят на комплексните корени е четен, а всичките реални корени, ако съществуват, обикновено са различни. В особените случаи, когато корените са кратни, числото  $K$  може да приема и други стойности, но такива случаи са малко вероятни и могат да се случат само при особени положения на външните шарнири на групата.

Броят на реално съществуващите варианти на Асуровата група от III клас (по-нататък наричани монтажни варианти) съвпада с броя  $K$  на решенията на изходната система уравнения (1), тоест с броя на решенията на системата (9), а в случай на привеждане към едно крайно уравнение – с броя на реалните корени на полинома (14).

Случаят  $K = 0$  означава, че при дадените стойности на параметрите групата не съществува. Случаят  $K > 0$  означава, че групата има  $K$  на брой монтажни варианти, тоест звената на групата могат да заемат  $K$  на брой несъвпадащи положения върху равнината при фиксирани положения на външните шарнири.

Броят  $K$  на монтажните варианти на четиризвенна група може да се намери и по друг начин, при който не е необходимо да се намират корените на уравнението (14), а е необходимо

само да се знаят стойностите на коефициентите  $B_0, B_1, \dots, B_6$  на полинома  $\Phi(z)$ . Този способ се базира на метода на Щурм за определяне броя на реалните корени на полинома върху зададения интервал и е описан по-долу.

Както беше показано всички реални корени на полинома  $\Phi(z)$  лежат в интервала  $[-1, 1]$ . Съгласно метода на Щурм броят  $K$  на реалните корени на полином от шеста степен, които лежат в интервала  $[-1, 1]$ , се определя по формулата

$$K = N(-1) - N(1),$$

където:  $N(x)$  е броя на смените на знака в редицата  $f_0(x), f_1(x), \dots, f_6(x)$ ;

$$f_0(x) = \Phi(x), \quad f_1(x) = \frac{d f_0}{d x},$$

$f_k(x)$  – остатъкът от деленето на  $f_{k-2}(x)$  на  $f_{k-1}(x)$ , взет с обратен знак ( $k = 2, 3, \dots, 6$ ).

Корените на полинома  $\Phi(z)$  се намират по метода на секущите. След като са намерени корените  $z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, K$ ) на полинома  $\Phi(z)$ , изчисленията се извършват поотделно за всеки от  $K$ -те монтажни варианта. Така за  $i$ -тия монтажнен вариант се намира:

$$\begin{cases} \sin \gamma_4 = z_i, \\ \cos \gamma_4 = -R_1/R_2, \end{cases}$$

където  $R_1$  и  $R_2$  се намират по формулите (14) при  $z = z_i$ . След това се намират  $u_1, u_2, \dots, u_6, \Delta, \Delta_1, \Delta_2$  по формулите (3), (5) и (8) и се изчисляват  $\cos \gamma_1, \sin \gamma_1, \cos \gamma_2, \sin \gamma_2, \cos \gamma_3, \sin \gamma_3$  по формулите (2) и (7) [5, 6].

В разглеждания по-горе алгоритъм не са включени случаите, когато  $\Delta=0$  и  $R_1 = R_2 = 0$ , защото те са тривиални.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статията е посветена на създаването на мобилен сервизен колаборативен робот, предназначен за помощ в здравеопазването и за обслужване на хора в неравностойно положение. Описана е засилващата се тенденция за създаване на роботизирани системи в помощ на здравеопазването особено в развитието на пандемията Covid 19 в последните години. Бързото развитие на колаборативните роботи, предназначени да работят безопасно съвместно с

хората, открива широка перспектива за роботизиране на дейности, представляващи опасност за здравето и живота на хората. Съществуват различните видове дейности в болнично заведение, които могат да се изпълняват от робот. Разбира се това основно помощни функции например на санитарите, сестрите и лекарите. Един такъв подход ще освободи много време на високо квалифицирания персонал, както и ще предпази живота и здравето им от опасностите на заразяването. Но създаването на такива високо интелигентни и „умни“ роботи е нелека и изключително отговорна задача. Описаният Математичен модел за генериране на управление на робота на основата на осъществяван кинематичен анализ на движенията на манипулатора му, комбинирано с получаваната сензорна информация от околната среда, показва при експерименталните изпитания висока степен на ефективност като в значителна степен улесни процеса на управление на робота и неговия манипулатор. Използваната Операционна система Robot Operational System (ROS) показва значителни възможности с използването на набора инструменти включени в използвания пакет. Сполучливата реализация на такъв робот в помощ на хората с увреждания в Института по роботика, БАН създава възможности за пренасочване на предназначението на робота за изпълнение на помощни дейности в здравеопазването [9, 10, 11]. В колектива от учени работещи по реализацията на този робот са привлечени и специалисти лекари от Military Medical Academy, Department of Endocrinology, Sofia, Bulgaria, които са запознати в най-голяма степен с възможностите за роботизиране на спомагателни операции в медицинските заведения. Трябва да се обърне внимание на факта, че тези сервизни роботи, в допълнение към потребителската база от знания за средата, в която работят, трябва да бъдат оборудвани с комуникационни инструменти, например за комуникация със супервайзора, както и за оценка на критични ситуации, свързани с поведението и здравето на обслужваното лице.

## БЛАГОДАРНОСТ

Тази статия е написана в изпълнение на проект с Административен договор № КП-06-Н57/8 от 16.11.2021 г. - „Методология за определяне на функционалните параметри на мобилен колаборативен сервизен робот-асистент в здравеопазването“, финансиран по „Конкурс за финансиране на фундаментални научни изследвания – 2021 г.“ от фонд "Научни изследвания", България.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Джолдасбеков У. А. (1983) Графоаналитические методы анализа и синтеза механизмов высоких классов. Москва, Наука, Россия, 1983.
2. Каган В., Андреев А. (1979) Алгоритмы кинематического расчета двухповодковых и трехповодковых групп. Алгоритмы проектирования схем механизмов. Москва, Наука, Россия, стр. 102-125, 1979.
3. Константинов М., Райков П. (1985) Изследване на възможностите на някои затворени кинематични структури за използването им в робототехниката. Пети НКТПМ, Варна, България, стр.168-173, 1985 г.
4. Пейсах Э.Е., Нестеров В.А. (1988) Система проектирования плоских рычажных механизмов. Москва, Машиностроение, Россия, 1988.
5. Пол Р. (1978) Моделирование, планирование траектории и управление робота-манипулятора. Москва, Наука, Россия, 1978.
6. Chase M.A. (1963) Vektor analysis of linkages. J. Engineering for Industry, Trans.ASME, Vol.85, 1963.
7. Chung H., C Radcliffe. (1978) Kinematics and Mechanisms Design. John Wiley & Sons Inc., 1978.
8. Denavit J., R. Hartenberg. (1955) A kinematic notation lower pair mechanisms based on matrices. J. Applied Mechanics, Vol.22,1955.
9. Paunski. Y., R. Zahariev, “Service robots control system, based on Arm cortex M architecture microprocessor system”, Pr. TU Sofia, XXVI International Conference „ADP-2017“, June, 2017, Sozopol, Bulgaria, 2017, pp. 300-304. <https://mf.tu-sofia.bg/MNTK%20ADP%20site/4%20Proceeding/2017/Materials/Napравlenie-7/4-7-R.Zahariev-2.pdf>
10. Valchkova N., R. Zahariev “Optimization of model operator for a service robot, intended to service persons with disability.”, Pr.“TECIS-19” IFAC Conf.26-28 September, (2019) Sozopol, Bulgaria. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.468>
11. Zahariev R., N. Valchkova, G. Angelov, Y. Paunski at al. “Robots for Help in Pedagogy and Rehabilitation.” In Pr. 20-th Int. Conf. on Computer Systems and Technologies, ACM, New York, NY, (2019) USA, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1145/3345252.3345253>