

# ГЕОМЕТРИЧЕН МОДЕЛ НА РОБОТ С ПАРАЛЕЛНА КИНЕМАТИКА

Мина Цонева  
[mina\\_todorova@abv.bg](mailto:mina_todorova@abv.bg),

Михаил Милев  
[tu\\_mihail\\_milev@abv.bg](mailto:tu_mihail_milev@abv.bg),

Михаела Топалова  
[m\\_topalova@tu-sofia.bg](mailto:m_topalova@tu-sofia.bg),

ТУ – София, ИПФ – Сливен,  
гр. Сливен, бул. “Бургаско шосе” №59

## Резюме

*В настоящия труд е предложен геометричен модел на реална конструкция на робот с паралелна кинематика по метода на затворените векторни контури. С цел симулиране на решението на правата или обратната задачи на кинематиката е предложен подход за абстрактно представяне на параметризиран модел в 3D CAD среда, адаптирана за инженерно проектиране.*

## Ключови думи

*Робот с паралелна кинематика, геометричен модел, векторен контур, параметризиран модел в 3D CAD среда, моделна област, краен ефектор*

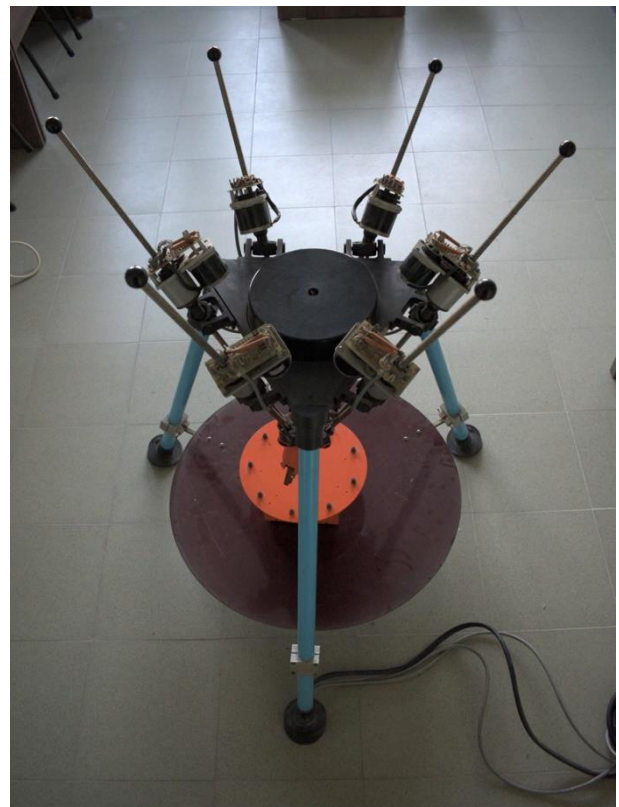
## Въведение

Роботите извършват сложни последователности от движения и действия. Те са автономни компютърно управлявани машини. Механичното движение на изпълнителните (работните) им органи е програмируемо. Целта е да се постигне прецизно позициониране и/или изпълнение на движение (преместване) по предварително зададена траектория на точки от изпълнителното звено. С това е свързан фундаменталният проблем при практическото използване на роботизирани системи, а именно при зададена позиция и ориентация на изпълнителното звено да се намерят такива стойности на обобщените координати, при които съответният механизъм да позиционира и ориентира крайния ефектор, както е по задание [Михайлова и др. 2019], [Михайлова и др. 2021].

Ето защо геометричният и кинематичният анализ на механизмите, изпълняващи манипулационните движения на роботите, е изключително важен етап при проектирането им.

Много от съвременните CAD пакети имат възможности за кинематично изследване на моделираните механизми на сглобени единици. При кинематично изследване на сглобена единица, софтуерът позволява определяне на резултатна позиция, скорост и ускорение на точки от изграждащите я тела. Този подход позволява да се изследват, оценят и оптимизират конструктивните варианти на проектирания механизъм.

*Обект на настоящата разработка е реална конструкция на робот с паралелна кинематика, чийто общ вид е представен на фиг.1. Конструктивното решение използва шест еднотипни линейни актуатора, задвижвани от шест стъпкови двигателя, монтирани чрез двойни и единични шарнирни връзки – съответно между неподвижно шаси и крайния ефектор.*



Фиг. 1. Робот с паралелна кинематика

Целта на работата е да се създаде геометричен параметризиран модел, с който да се симулира решението на правата или обратната задача на кинематиката изцяло в 3D CAD среда.

При така поставеното условие, често използван подход е да се изгражда 3D модел на обекта (сглобена единица), съдържащ подробни 3D модели на обемните тела с наложени кинематични връзки (Constraint) между тях [Shih et al, 2022]. Реализирането на подобен подход е съпроводено с въвеждане на обем от геометрична информация, който няма да бъде използван при симулацията.

Тук се предлага подход, който цели абстрактно представяне на модела в 3D CAD среда, като запазва съществените за симулацията геометрични размери и кинематични връзки между обектите. Геометричният модел се състои само от реперни елементи (точки, линии, повърхнини), съдържащи се в реалните тела и участващи непосредствено при симулирането на кинематичните връзки между тях.

### Структурен анализ

#### - Кинематична и структурна схема

За създаване на геометричния модел на робота са съставени кинематична и структурна схема, които са показани на фиг. 2а и 2б. Неподвижните стави са обозначени с  $O_i, (i = 1 \div 6)$ , разстоянията между тях  $l_i = l$  са равни, т.е. образуват равностранен шестоъгълник. Изпълнителното звено е  $A_1A_2A_3$ , което има формата на равностранен триъгълник със страна  $a$  и геометричен център  $E_C$ . Задвижването се осъществява чрез шест винто-гаечни предавки, свързващи съответно  $O_1$  и  $O_2$  с  $A_1$ ;  $O_3$  и  $O_4$  с  $A_2$ ;  $O_5$  и  $O_6$  с  $A_3$  (фиг. 2). Винто-гаечните предавки са показани условно чрез плъзгащи кинематични двоици.

#### - Степени на свобода

За доказване на достоверността на кинематичната схема са определени степените на свобода на механизма по зависимост [Генова 1994]:

$$(1) \quad h = (6 - b)(n - 1) - \sum_{k=1+b}^5 (k - b) p_k,$$

където:

$n$  – броят на звената, включително и стойката;

$$n = 14$$

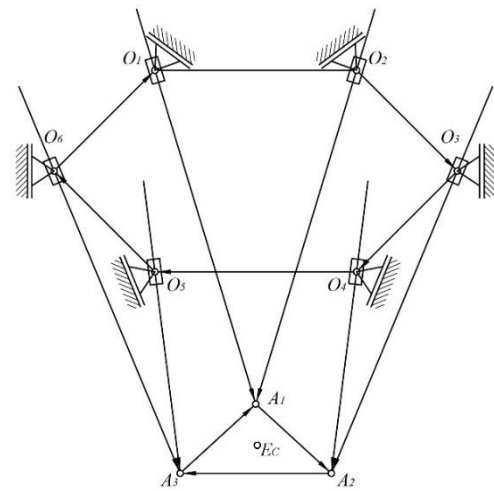
$p_k$  – броят на кинематичните двоици от  $k$ -ти клас;

$$p_1 = 0; p_2 = 0; p_3 = 6; p_4 = 6; p_5 = 6;$$

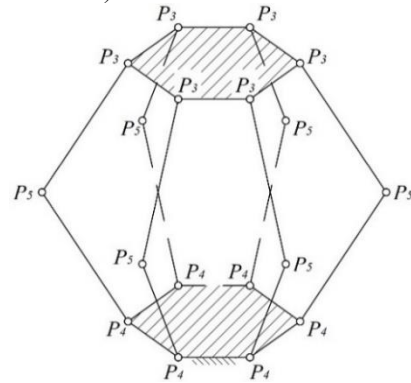
$b$  – броят на общите ограничения на движението на звената и кинематичните двоици в механизма.

$$b = 0$$

Получава се  $h = 6$ . Това са шестте независими премествания в плъзгащите кинематични двоици.



а) Кинематична схема



б) Структурна схема

Фиг. 2. Кинематична и структурна схема на робот с паралелна кинематика

### Геометричен модел. Функция на положението

За определяне на положението на изпълнителното звено е въведена координатната система  $Oxyz$  (фиг. 3). Неподвижните стави са разположени в равнината  $Oxy$  така, че  $O_1$  и  $O_2$  да лежат на оста  $Ox$ , а  $O_6$  да лежи на оста  $Oy$ . Вертикалната ос  $Oz$  е насочена надолу, в посока на работното пространство на робота.

Геометричният модел е създаден по метода на затворените векторни контури. Положението на механизма относно избраната координатна система  $Oxyz$  може да се определи чрез шест векторни контура, които са показани на фиг. 3. Съответните векторни уравнения имат вида:

Контур 1 -  $O_1O_2A_1$

$$(2) \quad \vec{l}_2 + \vec{s}_2 = \vec{s}_1$$

Контур 2 -  $O_2O_3A_2A_1$

$$(3) \quad \vec{l}_2 + \vec{s}_3 = \vec{s}_2 + \vec{a}_1$$

Контур 3 -  $O_3O_4A_2$

$$(4) \quad \vec{l}_3 + \vec{s}_4 = \vec{s}_3$$

Контур 4 -  $O_4O_5A_3A_2$

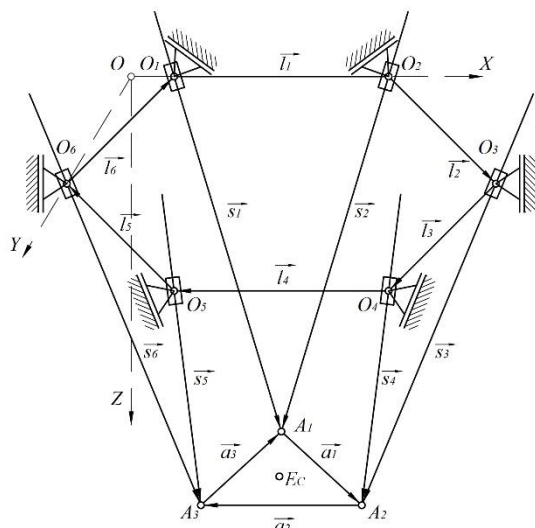
$$(5) \quad \vec{l}_4 + \vec{s}_5 = \vec{s}_4 + \vec{a}_2$$

Контур 5 -  $O_5O_6A_3$

$$(6) \quad \vec{l}_5 + \vec{s}_6 = \vec{s}_5$$

Контур 6 -  $O_6O_1A_1A_3$

$$(7) \quad \vec{l}_6 + \vec{s}_1 = \vec{s}_6 + \vec{a}_3$$



Фиг. 4. Векторни контури

Уравнения от (2) до (7) образуват система от осемнадесет уравнения с двадесет и седем неизвестни, които са проекциите на векторите  $\vec{s}_i$ , ( $i = 1 \div 6$ ) и  $\vec{a}_j$  ( $j = 1 \div 3$ ). Към системата уравнения се добавят и следните геометрични зависимости:

$$(8) \quad S_i^x^2 + S_i^y^2 + S_i^z^2 = S_i^2$$

$$(9) \quad a_j^x^2 + a_j^y^2 + a_j^z^2 = a^2$$

### Параметризиран 3D CAD модел в SolidWorks

Построения:

1. Равните „W“ и „B“, Фиг. 4 отстоят на разстояния, зададени чрез параметрите „HW“ и „HB“. Равнината „W“ пресъздава работната повърхност от масата на робота. В равнината „B“ лежат точките на пресичане между осите на ротация на двойните шарнирни връзки „ $O_1 \div O_6$ “

2. Положението на точки „O“ се определя, чрез шестоъгълник, лежащ в равнината „B“, и имащ дължини на страните:  $l_1 = l_2 = \dots = l_6$ ;

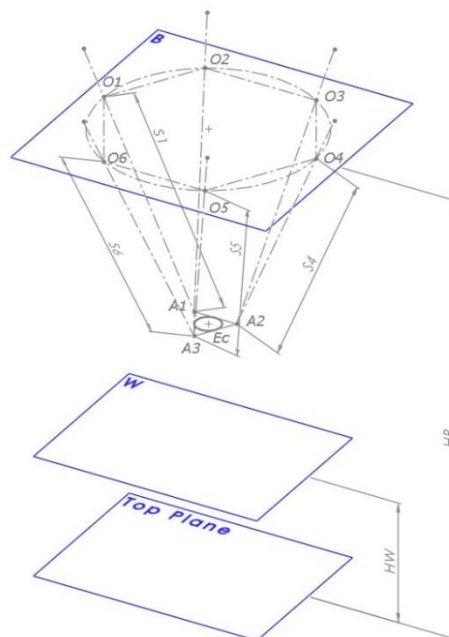
3. През всяка точка „O“, се построяват прави в общо положение и дължините им се оразмерява с параметри „ $S_1 \div S_6$ “;

4. Краищата на две съседни прави се свързват в точките „A1“, „A2“ и „A3“;

5. Дефинира се равнина чрез точките „A1“, „A2“ и „A3“;

6. В равнината се построява триъгълник „A1“, „A2“, „A3“ и вписана окръжност с център „Ec“;

7. Въвеждат се контролни ъглови размери, заключени съответно между равнините „Top Plane“, „Right Plane“ и „Front Plane“ и контролни линейни размери съответно между точка „Ec“.



Фиг. 4. Структура на 3D CAD модела

### Заклучение

Извършеното геометрично моделиране по метода на затворените векторни контури е началният етап от създаването на кинематичен модел, който ще бъде реализиран в средата на програмен продукт Matlab, toolbox Simulink.

Като алтернативен вариант за решаване на правата и обратната задачи на кинематиката е изграден и геометричен модел в параметрична 3D CAD среда. За определяне на обобщените координати на елементите от механизма този модел използва топологичните връзки, кинематичните условия и размерните вериги на изградената геометрична структура.

### ЛИТЕРАТУРА

- Г. Михайлова, М. Цонева, Относно кинематиката на регионални подсистеми на промишлени роботи с три степени на свобода, Механика на машините, 2019, Механика на машините, 2020, ISSN 0861-9727;
- Г. Михайлова, Т. Добрев, М. Цонева, Обратна задача на кинематиката на регионални подсистеми на промишлени роботи с три степени на свобода, Дни на механиката във Варна, Механика на машините, 2021, ISSN 0861-9727;
- П. Генова, ТММ, София 1994;
- R. Shih, P. Schilling, Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2022, ISBN 1630574635.

# GEOMETRIC MODEL OF ROBOT WITH PARALLEL KINEMATICS

M. Tsoneva, M. Milev, M. Topalova

## **Resume**

*In this paper is considered, a geometric model of a real construction of a robot with parallel kinematics by the method of closed vector loops. With abstract representation of a parametric 3D CAD model will be simulated the solution of direct and inverse kinematic solutions.*

## **Introduction**

The fundamental problem in the practical use of robotic systems is a given position and orientation of the executive unit, to find such values of the generalized coordinates in which the corresponding mechanism positions and orients the end effector as per the assignment [1, 2].

The geometric and kinematic analysis of the mechanisms performing the manipulation movements of robots is an extremely important stage in their design and use. Kinematic models can be implemented in the Matlab. Also, modern CAD packages have capabilities for kinematic study of the modeled mechanisms of assembled units. In the kinematic study of an assembled unit, the software allows determination of the resulting position, velocity and acceleration of points of the constituent bodies. Thus, the design variants of the designed mechanism are investigated, evaluated and optimized.

The object of the present development is a real construction of a robot with parallel kinematics, the general appearance of which is presented in Fig.1. The structural solution uses six linear actuators of the same type, driven by six stepper motors, mounted via double and single hinged connections – respectively, between the fixed chassis and the end effector.

A structural analysis of the mechanism was carried out in the work. A geometric model was created using the method of closed vector loops, which is the first task of the next kinematic analysis of the mechanism.

In parallel, an approach for abstract presentation of the model in a 3D CAD environment is proposed, preserving the essential geometric dimensions and kinematic relationships between the objects for the simulation. The geometric model consists only of reference elements (points, lines, surfaces) contained in the real bodies and directly involved in simulating the kinematic connections between them.

## **Conclusions**

*The geometric modeling performed by the method of closed vector contours is an initial stage of the creation of a kinematic model, which will be implemented in the Matlab environment, Simulink toolbox.*

*As an alternative for solving forward and inverse solutions of the kinematics, a geometric model was built in a parametric 3D CAD environment. To determine the generalized coordinates of the mechanism elements, this model uses the topological relations, kinematic conditions and dimensional chains of the constructed geometric structure.*

## **Keywords:**

*Parallel kinematics robot, geometric model, vector contour, parameteric3D model, model area, end effector*