

Review Report on the PhD thesis of Rustem Kaiyrov

Entitled:

«Kinematic analysis of a novel 3-PRRS tripod type parallel manipulator»

To The Degree Committee of Al-Farabi Kazakh National University

Parallel robots with closed kinematic chains have structural rigidity, high lifting capacity, high positioning accuracy and significant response time. In this regard, they are used in many branches of modern industry. This doctoral dissertation is about "Kinematic analysis of a novel 3-PRRS tripod type parallel manipulator". The dissertation begins with a comprehensive review of the state of art. The work is focused on developing a new parallel robot with six degrees of freedom and three legs. Each leg is defined by a kinematic chain of PRRS type. The translational movements of the three input translational kinematic pairs along three guides located at an angle of 120 degrees are carried out by three hydraulic cylinders. Rotational movements of the three input kinematic pairs are carried out by three servos, moving together with the rods of three hydraulic cylinders.

To study the geometry and kinematics of the developed parallel robot of the tripod type, in contrast to the existing Denavit-Hartenberg method, in each kinematic pair, not one Cartesian coordinate system, but two Cartesian coordinate systems are rigidly connected. Moreover, each of these Cartesian coordinate systems is rigidly connected to each element of the kinematic pairs. Then the transformation matrix between the selected coordinate systems contains not four parameters, as in the Denavit-Hartenberg matrix, but six parameters. The transformation matrices of coordinate systems rigidly connected at the ends of binary links are matrices of binary links, the constant elements of which characterize the geometry of the binary links. The transformation matrices of coordinate systems rigidly connected with the elements of the kinematic pairs are matrices of the kinematic pairs, the variable parameters of which characterize the relative movements of the elements of the kinematic pairs. On the basis of the matrices of kinematic pairs and binary links, matrix equations of the closeness of the contours are compiled, which are used to study the kinematics of a new parallel robot of the tripod type.

In the first chapter, the degree of freedom is determined, as well as the forward and inverse kinematics of the new parallel manipulator of the tripod type are solved. In forward kinematics, the polynomial method is used, with the help of which it is possible to determine all the configurations of the movable platform of the parallel manipulator. Results are verified using the inverse kinematics. In the inverse problem, the equations for limiting rotational kinematic pairs are taken into account.

In the second chapter, the trajectory of movement of the center of the moving platform is determined. The workspace of the tripod is constructed by the method of numerical selection. The workspace is determined using the direct and inverse kinematics problem. The results of numerical calculations are presented, which show the effect of changing the prismatic kinematic pairs on the workspace of the proposed parallel robot. The workspace in the upper part of the parallel robot increases in case of smaller values between the prismatic kinematic pairs a considered. However, for large values between the prismatic kinematic pairs, the workspace in the lower part of the parallel robot increases.

In the third chapter, the Jacobi matrices connecting the input and output generalized coordinates are defined. The Jacobi matrices are augmented with constraint equations and a singular analysis of the tripod is done. The direct and inverse velocity problems are solved. The inverse velocity problem is checked using the direct problem. Using the "half division" method, the positions of the parallel manipulator were determined when the Jacobian matrix J_X vanished, and the accuracy of the singular analysis was checked. The workspace free of singular configurations was determined. It is proved that the workspace without a singular configuration can be increased by changing the distance between the prismatic kinematic pairs.

The results of all calculations are displayed in the form of tables and are visually shown in the form of graphs implemented under Matlab program.

The scientific contribution of this doctoral dissertation deals with the development of a novel parallel manipulator 3-PRRS with six degrees of freedom with an increased workspace. The proposed parallel robot is based on the previously existing parallel robot 3-RRS.

The author has shown that he can conduct high quality research with numerous publications in international journals and conferences. Among the

publications, one is indexed in the Web of Science, and the others in Scopus. From the presentation and discussion, I believe that the candidate has deep knowledge of the subject area and can answer questions with confidence. Based on the above, I believe that the dissertation was carried out at a high scientific level and meets all the requirements for the degree of Doctor of Philosophy PhD. In this regard, I recommend the dissertation work of Kaiyrov Rustem Aibekovich for defense for the degree of Doctor of Philosophy PhD in the specialty "6D060300-Mechanics".



Dr. Med Amine Laribi
CoBRA Team, Department of GMSC,
Pprime Institute CNRS, ENSMA,
University of Poitiers, UPR 3346, France

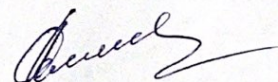
CNRS - Université de Poitiers - ENSMA
INSTITUT P'
Dpt. Génie Mécanique et Systèmes Complexes
SP211 - Bd Marie et Pierre Curie - BP 30179
80002 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex
Tél: 05 49 49 65 01-00 / Fax 05 49 49 65 04

Рецензия на диссертационную работу докторанта PhD Рустема Кайырова на тему: «Кинематический анализ нового параллельного манипулятора 3-*PRRS* типа трипод»

Ученой комиссии Казахского национального университета имени аль-Фараби

Параллельные роботы, имеющие замкнутые кинематические цепи обладают жесткостью конструкции, имеют большую грузоподъемность, высокую точность позиционирования и значительное быстродействие. В связи с этим используются во многих отраслях современной промышленности. Это докторская диссертация посвящена на тему «Кинематический анализ нового параллельного манипулятора 3-*PRRS* типа трипод» ("Kinematic analysis of a novel 3-*PRRS* tripod type parallel manipulator"). Диссертация начинается из всестороннего обзора литературы. В работе разрабатывается новый параллельный робот с шестью степенями свободы и тремя ногами, каждая из которых представляет кинематическую цепь вида *PRRS*. Поступательные движения трех входных поступательных кинематических пар по трем направляющим, расположенным под углом 120° , осуществляются тремя гидроцилиндрами. Вращательные движения трех входных кинематических пар осуществляются тремя сервоприводами, движущимися вместе со штоками трех гидроцилиндров.

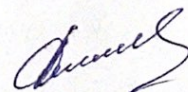
Для исследования геометрии и кинематики разрабатываемого параллельного робота типа трипод, в отличие от существующего метода Денавита – Хартенберга, в каждой кинематической паре твердо соединяются не одна декартова система координат, а две декартовы системы координат. Причем каждая из этих декартовых систем координат твердо соединяется с каждым элементом кинематических пар. Тогда матрица преобразования между выбранными системами координат содержит не четыре параметра как у матрицы Денавита – Хартенберга, а шесть параметров.



Матрицы преобразования систем координат, твердо соединенных на концах бинарных звеньев, являются матрицами бинарных звеньев, постоянные элементы которых характеризуют геометрию бинарных звеньев. Матрицы преобразования систем координат, твердо соединенных с элементами кинематических пар, являются матрицами кинематических пар, переменные параметры которых характеризуют относительные движения элементов кинематических пар. На основе матриц кинематических пар и бинарных звеньев составляются матричные уравнения замкнутости контуров, которые используются для исследования кинематики нового параллельного робота типа трипод.

В первой главе определяется степень свободы, решается прямая и обратная кинематика нового параллельного манипулятора типа трипод. В прямой кинематике используется метод полиномов, с помощью которого можно определить все конфигурации подвижной платформы параллельного манипулятора. Результаты проверяются с помощью обратной кинематики. В обратной задаче учитываются уравнения ограничения вращательных кинематических пар.

Во второй главе определяется траектория движения центра подвижной платформы, строится рабочая зона трипода методом численного подбора. Рабочая зона определяется с помощью прямой и обратной задачи кинематики. Приводятся результаты численных расчетов, где показана влияние изменения призматических кинематических пар на рабочую зону данного параллельного робота, то есть при меньших значениях между призматическими кинематическими парами увеличивается рабочая зона в верхней части параллельного робота, а при больших значениях между призматическими кинематическими парами увеличивается рабочая зона в нижней части параллельного робота.



В третьей главе определяются матрицы Якоби связывающие входные и выходные обобщенные координаты. Матрицы Якоби дополняются с помощью уравнений ограничения, и делается сингулярный анализ трипода. Решается прямая и обратная задача скорости. Прямая задача скорости проверяется с помощью обратной задачи и наоборот обратная задача скорости проверяется с помощью прямой задачи. Методом «половинного деления» были определены положения параллельного манипулятора при

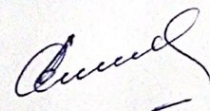
обращении в ноль матрицы Якоби J_x , и было проверено точность сингулярного анализа. Были проверены особые конфигурации манипулятора

на разной высоте (в зависимости от значения Z_p) и определена рабочая зона без сингулярной конфигурации. Доказано, что рабочая зона без сингулярной конфигурации может быть увеличена за счет изменения расстояния между призматическими кинематическими парами.

Результаты всех расчетов выведены в виде таблиц и визуально показана в виде графиков в программе Matlab.

Научным вкладом этой докторской диссертации, является создание нового параллельного манипулятора 3-PRRS с шестью степенями свободы с увеличенной рабочей зоной на основе ранее существующего параллельного робота 3-RRS с тремя степенями свободы и детальный кинематический анализ нового параллельного манипулятора типа трипод.

Автор показал, что может проводить высококачественные исследования с многочисленными публикациями в международных журналах и конференциях. Среди публикации одна проиндексирована в Web of Science, а другие в Scopus. Из презентации и обсуждения считаю что кандидат владеет глубокими знаниями в предметной области и может ответить на вопросы с уверенностью. На основании вышеизложенного я считаю, что диссертация выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем требованиям, предъявляемым к ученой степени доктора философии PhD. В связи с этим я



рекомендую диссертационную работу Кайырова Рустема Айбековича к защите на соискание ученой степени доктора философии PhD по специальности «6D060300-Механика».

Доктор Мед Амин Лариби /подпись/ имеется
Кафедра машиностроения и комплексных систем, Институт Prgime,
Национальный центр научных исследований - Университет Пуатье,
Пуатье, Франция

Штамп: Национальный центр научных исследований - Университет Пуатье
Кафедра машиностроения и комплексных систем
Бульвар Марии и Пьера Кюри BP 30179
86962 ФУТУРОСКОП ШАССЕНЕЙ СЕДЕКС
Тел.: 05-40 49 65 01-00 / Факс: 05 49 49 65 04

*Перевод с английского и французского языков на русский выполнила Айткулова Гульнара
Шакаримовна*

Айткулова Гульнара Шакаримовна