

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА МАНИПУЛЯТОРОВ

Жителев Д. С., Козлов М. В.

Научные руководители – доцент Мерко М. А., ст. преподаватель Меснянкин М. В.
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Манипуляторы промышленных роботов являются разновидностью пространственных рычажных механизмов осуществляющих действия, аналогичные действиям руки человека и предназначены для изменения положения объектов или материалов. Структура механизмов данного вида сформирована совокупностью звеньев и кинематических пар разных классов образующих простые или сложные кинематические цепи, что позволяет им обладать степенью подвижности равной или большей единицы. Однако, для манипуляторов характерно наличие возможности изменения свойств структуры в процессе выполнения служебного назначения. Подвод выходного звена (схвата) к объектам или материалам, местоположение которых нужно изменить, а также их совместное перемещение осуществляется по закону любой сложности при незамкнутой (открытой) кинематической цепи. В момент захвата выходным звеном объектов или материалов свойства структуры манипулятора изменяются, так как кинематическая цепь механизма становится замкнутой (закрытой). Для подтверждения способности структуры механизма данного вида обеспечить выполнение служебного назначения требуется дополнительно определить маневренность. При этом выходное звено (схват) считается условно неподвижным, а форма перемещаемого объекта не учитывается, что приводит к искажению реальных свойств структуры манипулятора.

Проиллюстрируем поставленную проблему на примере анализа свойств структуры манипулятора представленного на рис. 1 а. Структурная схема данного механизма образована совокупностью одного неподвижного звена – стойки 0 и подвижных звеньев: 1, 2, 3, 4, 5. Из проведенного анализа следует, что число подвижных звеньев равно пяти, т. е. $n = 5$. Структура содержит четыре кинематических пар пятого класса (вращательные 0 – 1, 1 – 2, 2 – 3, поступательная 3 – 4) и одну кинематическую пару третьего класса (4 – 5 сферическая), следовательно, $p_5 = 4$, $p_4 = 0$, $p_3 = 1$, $p_2 = 0$, $p_1 = 0$.

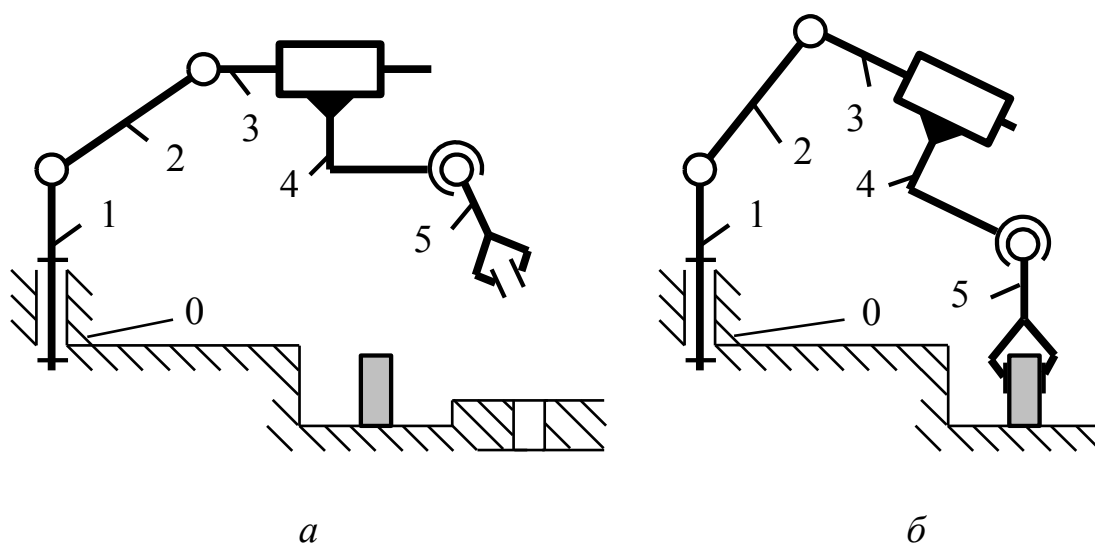


Рисунок 1

Подставив значения коэффициентов в структурную формулу Сомова-Малышева, получим:

$$W = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 4 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 0 = 30 - 20 - 3 = 7.$$

Результат означает, что для однозначного определения возможных положений всех звеньев данного механизма, обладающего незамкнутой кинематической цепью, в пространстве (трехмерной системе координат) необходимы семь обобщенных координат, т. е. для дальнейшего решения задач разделов кинематика и динамика, помимо размеров звеньев, должны быть известны семь углов, определяющих расположение проекций соответствующих звеньев относительно осей трехмерной системы координат на каждой координатной плоскости.

С целью дальнейшего анализа свойств структуры манипулятора (рис. 1, а) перейдем к определению маневренности.

Случай 1. Требуется изменить положение объекта лежащего на неподвижной плоскости.

Объект и плоскость накладывают друг на друга связи, ограничивающие возможные относительные движения. Взаимосвязь плоскости и объекта не изменяет их кинематического состояния, следовательно, объект находится в состоянии покоя. В момент времени соответствующий захвату выходным звеном рассматриваемого объекта данный объект получает возможность совершать какое-либо движение совместно с выходным звеном, следовательно, объект становится подвижным и его необходимо также рассматривать со схватом как единое звено (рис. 1 б). Соответственно число подвижных звеньев в структуре механизма не изменяется, а кинематическая цепь становится замкнутой, что приводит к изменению степени подвижности манипулятора на величину пропорциональную классу образованной кинематической пары схват (объект) – плоскость.

Если объект имеет форму параллелепипеда (рис. 1 б), то кинематическая пара схват (объект) – плоскость является плоскостной кинематической парой третьего класса, следовательно, коэффициент станет равным $p_3 = 2$, тогда получим маневренность:

$$m = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 4 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 2 - 2 \cdot 0 - 0 = 30 - 20 - 6 = 4.$$

Результат означает, что для однозначного определения возможных положений всех звеньев манипулятора, обладающего замкнутой кинематической цепью и предназначенного для перемещения в пространстве объекта, имеющего форму параллелепипеда необходимы четыре обобщенные координаты.

Если объект имеет цилиндрическую форму (рис. 2 а), то кинематическая пара схват (объект) – плоскость является кинематической парой цилиндр-плоскость второго класса, следовательно, коэффициент станет равным $p_2 = 1$, тогда получим маневренность:

$$m = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 4 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 - 0 = 30 - 20 - 3 - 2 = 5.$$

Результат означает, что для однозначного определения возможных положений всех звеньев манипулятора, обладающего замкнутой кинематической цепью и предназначенного для перемещения в пространстве объекта, имеющего цилиндрическую форму необходимы пять обобщенных координат.

Если объект имеет сферическую форму (рис. 2 б), то кинематическая пара схват (объект) – плоскость является кинематической парой шар-плоскость первого класса, следовательно, коэффициент станет равным $p_1 = 1$, тогда получим маневренность:

$$m = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 4 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 1 = 30 - 20 - 3 - 1 = 6.$$

Результат означает, что для однозначного определения возможных положений всех звеньев манипулятора, обладающего замкнутой кинематической цепью и предназначенного для перемещения в пространстве объекта, имеющего сферическую форму необходимы шесть обобщенных координат.

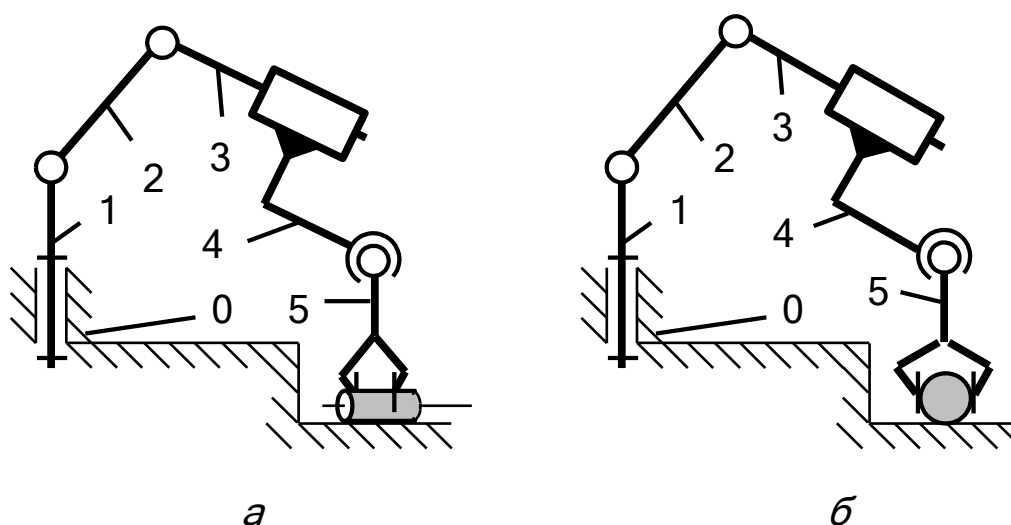


Рисунок 2

В следующий момент времени не зависимо от формы поверхности объекта возникнет необходимость отрыва этого объекта от неподвижной плоскости с целью его дальнейшего перемещения. Как только объект будет отделен от неподвижной плоскости, он утратит ранее существовавшие связи с этой плоскостью и в дальнейшем его необходимо рассматривать вместе со схватом как одно подвижное звено, а кинематическая пара схват (объект) – плоскость прекращает свое существование. Кинематическая цепь манипулятора становится вновь разомкнутой, что приводит к возврату первоначальных свойств структуры манипулятора и способности перемещения объекта по заданному закону.

Случай 2: Требуется установить объект в отверстие определенной формы, выполненное в неподвижной поверхности.

В момент времени соответствующий установке схватом объекта в отверстие на выходное звено накладываются связи, приводящие к образованию новой кинематической пары, а кинематическая цепь манипулятора замыкается. При этом число подвижных звеньев сохраняется, а степень подвижности механизма изменяется пропорционально подвижности новой кинематической пары, образованной схватом совместно с объектом и неподвижной поверхностью, в отверстие которой производится установка.

Если объект имеет форму параллелепипеда (рис. 3 а), то кинематическая пара схват (объект) – плоскость является поступательной кинематической парой пятого

класса, следовательно, коэффициент станет равным $p_5 = 5$, тогда получим маневренность:

$$m = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 5 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 0 = 30 - 25 - 3 = 2.$$

Результат означает, что для однозначного определения возможных положений всех звеньев манипулятора, обладающего замкнутой кинематической цепью и предназначенного для установки в отверстие объекта имеющего форму параллелепипеда в пространстве необходимы две обобщенные координаты.

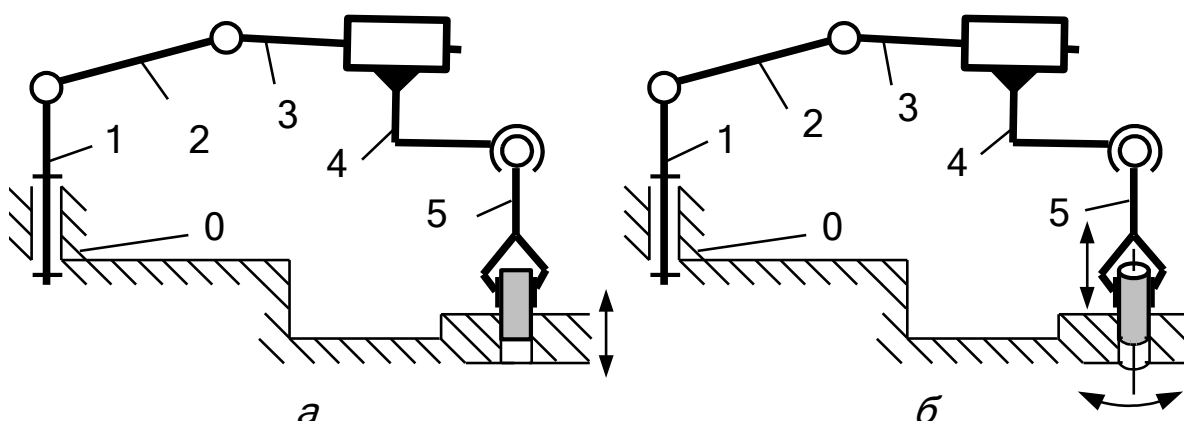


Рисунок 3

Если объект имеет цилиндрическую форму (рис. 3 б), то кинематическая пара схват (объект) – плоскость является цилиндрической кинематической парой четвертого класса, следовательно, коэффициент станет равным $p_4 = 1$, тогда получим маневренность:

$$m = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 4 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 0 = 30 - 20 - 4 - 3 = 3.$$

Результат означает, что для однозначного определения возможных положений всех звеньев манипулятора, обладающего замкнутой кинематической цепью и предназначенного для установки в отверстие объекта имеющего цилиндрическую форму в пространстве необходимы три обобщенные координаты.

В следующий момент времени не зависимо от формы поверхности объекта возникнет необходимость отделения этого объекта от выходного звена манипулятора с целью завершения операции его установки. Как только объект будет отпущен, он утратит ранее существовавшие связи с выходным звеном. Схват становится подвижным звеном, а кинематическая пара схват (объект) – плоскость прекращает свое существование. Кинематическая цепь манипулятора становится вновь разомкнутой, что приводит к возврату первоначальных свойств структуры манипулятора и способности перемещения выходного звена по закону любой сложности.

Вывод: Рассмотренные примеры показывают, что маневренность манипулятора (рис. 1 а) изменяется в пределах от 2 до 6, следовательно, при определении маневренности манипуляторов необходимо учитывать не только форму перемещаемого объекта, но и форму поверхности с которой этот объект взаимодействует, что позволит учесть все свойства механизмов данного вида на стадиях расчета и проектирования.