

Решение задач кинематики моделей и узлов механизмов при геометрических ограничениях

Евгений Ермаков, Сергей Митин,
НИИ Механики при ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
(evgeny@k3info.ru, mitin@k3info.ru)

Сергей Ротков.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Кафедра инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования, Нижний Новгород, Россия
(rotkov@nngasu.ru)

1. ВВЕДЕНИЕ

В статье описаны подходы, применяемые при разработке пользовательского инструментария для проектирования моделей и узлов с изменяемым взаимным положением и задания геометрических ограничений движения элементов и узлов. Так же разобрана классификация элементов и узлов по типу «трансляции» ограничений подчиненным объектам и по характеру ограничений. Задача была решена в САПР КЗ с использованием библиотеки С3D.

Ключевые слова: КЗ, С3D, движение, ограничение движения, параметры движения.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одной из основных задач систем автоматизации проектных работ является решение геометрических задач, связанных с изменяемым взаимным положением узлов или частей деталей и механизмов. Такого рода задачи обусловлены ужесточением требований, предъявлением к модели конструкции. В рамках применения CALS-технологий необходимо свести к минимуму натурное создание опытных образцов и автоматизировать все этапы жизненного цикла изделий и конструкций [1]. Одним из этапов жизненного цикла изделий является не только геометрическое, но и кинематическое проектирование.

В общем случае, задача моделирования движения частей деталей и механизмов сводится к уменьшению числа степеней свободы в зависимости от ограничений, накладываемых на сочленение механизмов. Примеры таких ограничений – диапазон возможного перемещение одной детали относительно другой, ограничение угла поворота

конструкции определяются совокупностью узлов и механизмов. При этом на различных участках движения ограничения от одного из узлов оказывают более существенное влияние, чем ограничения от других узлов. Ниже на рисунке приведен пример обычной мебельной дверки в закрытом положении, и в открытом положении. Этот пример показывает, что в каждой конкретной точке траектории движения на элементы накладываются ограничения свободного перемещения.

Как видно, движение верхней створки дверки определяется двумя узлами – верхними петлями и подъемным механизмом. Причем, характер движения под влиянием каждого из механизмов в отдельности, несводим к совокупному влиянию. Так, например, если бы не было петель на верхней створки, сама створка могла бы совершать любое плоскопараллельное движение, ограничиваемое только диапазоном выдвигного механизма подъемника. Ограничения на угол поворота подъемника не существует. Использование же только петель без подъемника не наложит ограничений на угол поворота. (строго говоря, петли имеют ограничение на угол поворота, но этот угол обычно составляет не меньше 110 градусов, в то время как на рисунке угол отрывания меньше 90 градусов).

Что же касается нижней створки и ограничений в ее перемещении, то на нее оказывается гораздо более сложное влияние. На нее, помимо верхней створки, влияют петли, соединяющие створки.

Анализ существующих типовых кинематических узлов и механизмов показал, что в подавляющем большинстве используются механизмы рычажного типа. Геометрические основы систем моделирования таких механизмов описаны в работе Турлапов В.Е. [2].

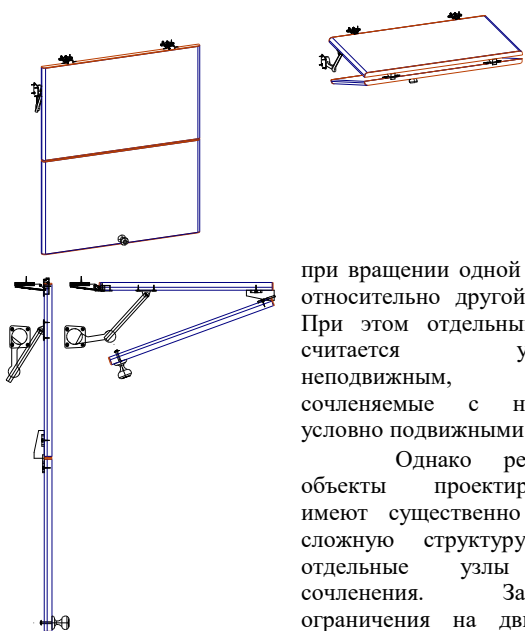
3. КЛАССИФИКАЦИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ И ОБЪЕКТОВ

Строго-то говоря, таких взаимоограничений может быть достаточно много. При этом положение объектов вычисляется не только в начальном и конечном положении, но и во всех промежуточных положениях тоже.

Решить эту задачу в САПР КЗ помогает геометрический решатель С3D фирмы Аскон (<http://ascon.ru/products/c3d/>). Как утверждают разработчики, на сегодняшний день С3D — единственное в мире геометрическое ядро, объединяющее в себе три важнейших модуля САПР.

Однако, сам решатель С3D – это инструмент разработчика программного обеспечения. То есть непосредственно пользователям САПР его использование недоступно. В системе КЗ инструментальный решатель выведен на уровень пользователя. Задание ограничений на движение представляет собой запись информации в пользовательские атрибуты объектов.

В САПР КЗ объекты, подверженные влиянию ограничений на движение, делятся на три основных типа:



при вращении одной детали относительно другой и пр. При этом отдельный узел считается условно неподвижным, а сочленяемые с ним – условно подвижными.

Однако реальные объекты проектирования имеют существенно более сложную структуру, чем отдельные узлы или сочленения. Зачастую ограничения на движения тех или иных элементов

Рисунок 1. Пример движения с ограничениями

- Сам по себе объект, который сам в себе содержит ограничение и сам же их «отрабатывает»
- Подчиненный объект – объект, который сам в себе информации о движении не содержит, а только лишь «отрабатывает» информацию, полученную извне
- Главный объект – объект, который сам не движется, но содержит и передает информацию о движении подчиненным объектам.

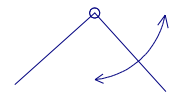
Так же в САПР КЗ представлены элементарные типы кинематических ограничений. Более сложные ограничения представляют собой совокупность элементарных.

Так, в приведенном выше примере, объект «мебельная ручка» является подчиненным, поскольку сама ручка информацию о движении не содержит и только «отрабатывает» движение, полученное от других объектов. А объект «верхняя петля» (вернее, неподвижная часть петли) сама не движется, а «транслирует» информацию о движении другим объектам.

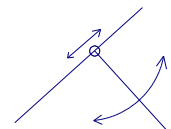
Так же каждый объект, участвующий в перемещении, имеет следующие общие характеристики:

- Общее (для данного объекта) время начала движения
- Общее (для данного объекта) время окончания движения
- Направление движения времени (объект «открывается» или «закрывается»)
- Количество «движений» - общее количество сдвигов и поворотов данного объект

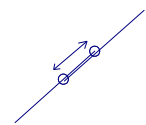
Таким образом, каждый из объектов, участвующих в перемещении, может «присоединиться» к общему движению в тот или иной момент времени. При этом объект может совершать достаточно сложное движение из нескольких сдвигов и перемещений.



Общая точка



Точка на прямой



Две точки на прямой

Рисунок 2. Пример элементарных ограничений

После общих характеристик для каждого объекта задаются движения, которые он должен совершить. Существует два типа элементарных движений – сдвиг и поворот. Соответственно, содержание информации о элементарном движении зависит от того, сдвиг это или поворот.

Решение поставленной задачи значительно упрощается при использовании параметрического подхода. В данном случае кинематические ограничения узлов нижних уровней формируют ограничения узлов верхних уровней структурного объекта. При этом использование механизмов репараметризации и депараметризации [3] позволяет динамически контролировать и вносить изменение в общую параметрическую модуль объектов.

4. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Положение каждого элемента и узла характеризуется его матрицей.

Существует три элементарных матричных преобразования – преобразование сдвига на вектор, преобразование поворота на угол, преобразование масштабирования. В нашем случае используются только преобразование сдвига и преобразование поворота.

С математической точки зрения, любое изделие представляет собой граф сборки [1], на который наложены параметрические связи [3]

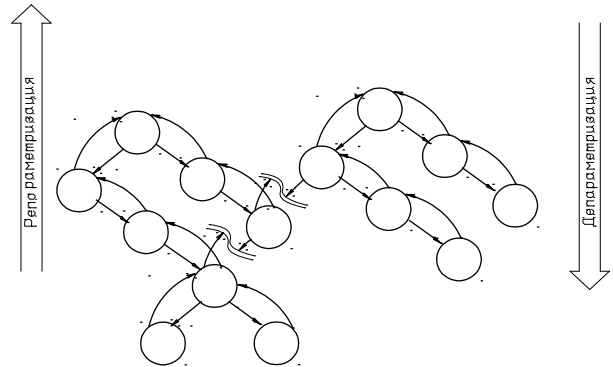


Рисунок 2. Граф сборки модели

Данное утверждение целиком и полностью справедливо для формирования геометрии модели. В вершинах графа содержатся private и public параметры каждого отдельного узла.

Если же речь идет о формировании кинематической модели, то вершины графа так же содержат набор кинематических ограничений и «транслируют» эти ограничения согласно концепции депараметризации и репараметризации. Ребра графа – это формирование матриц преобразования узлов более нижних уровней в зависимости от преобразования родительского узла и кинематических ограничений [2].

Изменение положения объекта – это, по сути, изменение его матрицы. С математической точки зрения, задача сводится и вычислению матрицы каждого из объектов.

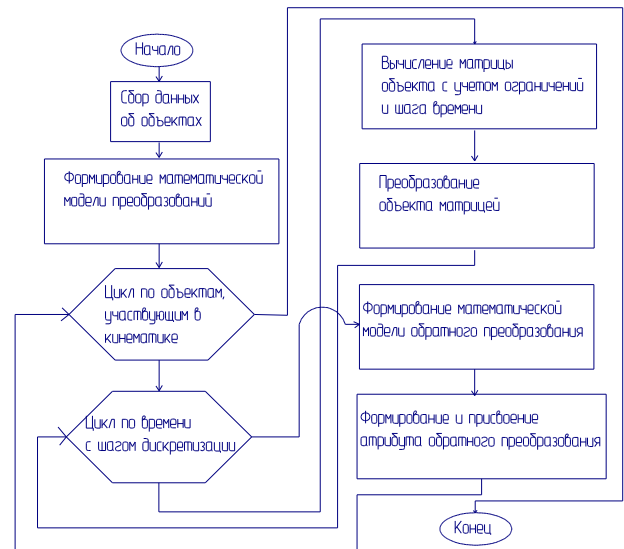


Рис. 5 Краткая блок-схема алгоритма

Стоит отдельно отметить, что задание таких элементарных движений в системе КЗ доступно пользователю. Однако, на практике такое задание может показаться достаточно трудоемким. Плюс, дополнительную сложность создает то, в какой системе координат нужно осуществлять преобразование. Строго-то говоря, все преобразования должны выполняться в системе координат «родительского» объекта, поскольку детали и узлы перемещаются не относительно себя, а относительно более крупного узла, куда они входят. А вот задавать сами параметры удобней в системе координат узла...

С целью упрощения решения этих задач, разработчиками КЗ написан алгоритм на макроязыке программы, которые производит преобразование параметров перемещения деталей и узлов из собственной

локальной системы координат в систему координат родительского узла. Дополнительно к этому стоит отметить, что в САПР КЗ разработчиками внесена достаточно большая библиотека типовых узлов и деталей с заданными ограничениями на движение элементов.

На практике при работе в САПР КЗ, конечному пользователю нет необходимости знать и понимать значение атрибута, содержащего информацию о перемещении того или иного объекта или его части. С точки зрения пользователя, в КЗ реализован набор пользовательских функций, которые назначают, читают, изменяют возможные параметры движения объектов или узлов, накладывая ограничения на суммарное движение.

5. ВЫВОДЫ

В статье показан механизм работы САПР для проектирования моделей и узлов с изменяемым взаимным положением с использованием библиотеки С3D в САПР КЗ для задания геометрических ограничений при проектировании движения элементов и узлов. Так же разобрана классификация элементов и узлов по типу «трансляции» ограничений подчиненным объектам и по характеру ограничений. Показан пример использования методики для решения прикладной задачи, приведена классификация объектов по типу движения и по типу «трансляции» движения зависимым объектам.

6. ЛИТЕРАТУРА.

1. Ротков.С.И. Разработка средств геометрического моделирования и компьютерной графики пространственных объектов для CAD-технологий. Дисс. Докт. Техн. Наук, Нижний Новгород, 05.01.01, ННГАСУ, 1999 год, 300 стр.
2. Турлапов В.Е. Геометрические основы систем моделирования кинематики пространственных рычажных механизмов Дисс. Докт. Техн. Наук, М., МАИ, 05.01.01, 2003 год, 280 стр.
3. Ермаков Е.С. Принципы многоуровневой параметризации при формировании объектов Дисс. канд. Техн. наук, Ижевск, ИжГТУ, 05.13.12, 2008 г., 150 стр.