

Концептуальные геометрические модели

Vasiliy Yermilov, Vladimir Kharin, Mikhail Shalak
Department of Computer Aided Design

Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

ermilov@udm.net (Vasiliy Yermilov)

woldemar@udm.net (Vladimir Kharin)

shalak@newmail.ru (Mikhail Shalak)

Аннотация

В работе рассматриваются геометрические модели на концептуальной стадии проектирования изделия в рамках технологии сквозной поддержки жизненного цикла изделий (CALS). Описывается способ повышения эффективности концептуального проектирования за счет использования расширенного набора кинематических геометрических моделей и предлагаемого инструментария их создания, параметризации и компоновки.

Abstract

This work presents geometric models on the conceptual design study within the continuous acquisition and life-cycle support technology (CALS). Described the way to increase conceptual design efficiency by using the extended set of kinematic models and proposed creation, parametrization and arrangement tools.

Keywords: *Кинематический синтез, Параметризация геометрических моделей, Концептуальное проектирование.*

1. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Возникновение ошибок в проектировании приводит к запоздалому запуску изделия в производство. Затраты, возникающие в связи с исправлением ошибок, повторными циклами изготовления, испытания и корректировки опытного образца ведут к серьезным убыткам. В худшем случае после всего комплекса конструкторско-технологической проработки может выясниться, что производство изделия нецелесообразно.

Решением данных проблем является этап концептуального проектирования, на котором должно решаться по возможности максимальное количество задач оценки целесообразности производства. Основным преимуществом применения информационных технологий на данном этапе является возможность проведения всестороннего экономического и технического анализа альтернативных решений до окончательного утверждения концептуального проекта в сжатые сроки и с минимальными затратами.

Ключевым моментом автоматизированного концептуального проектирования является охват по возможности широкого круга задач оценки и анализа будущего изделия при наименьших затратах времени и других ресурсов. В результате концептуального проектирования должен быть

получен концептуальный проект, представляющий собой компромисс между полнотой и точностью с одной стороны и затратами на его разработку – с другой, и позволяющий решать задачи оценки внешнего вида, сложности изделия, его себестоимости и т.п.

Одной из наиболее трудоемких для разработки составляющих концептуального проекта является геометрическая модель (ГМ). Основное требование, предъявляемое к средствам работы с концептуальной ГМ – скорость и низкая себестоимость процесса ее разработки и удобство последующего использования, как на концептуальной стадии, так и в техническом проекте. В качестве концептуальных ГМ возможно использование кинематических ГМ (КГМ). Данный тип моделей отвечает большей части указанных требований.

2. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНЦЕПТУАЛЬНОМ

В концептуальном проектировании при создании ГМ чаще всего используется технология моделирования BRep. Модель строится из кусков сплайновых поверхностей (патчей) или с помощью операций над набором полигонов. Реализация данной технологии представлена такими системами как 3D Studio MAX, Rhinoceros [1], предлагающими очень широкий инструментарий для моделирования. Главным достоинством данной технологии является возможность получения практически любых геометрических форм – поверхностей любой сложности, что и обуславливает ее популярность, но существенным недостатком, если рассматривать моделирование на основе BRep в рамках концептуального проектирования, является высокая трудоемкость моделирования и, соответственно, серьезные требования к подготовке пользователя-дизайнера, необходимость профессионального владения инструментарием конкретной системы. Также, использование сложного математического аппарата, зачастую используемого в реализациях технологии BRep, повышает требования к мощности вычислительной техники, что также может оказывать влияние на удобство работы с системой моделирования.

С другой стороны, более простые и удобные средства для построения 3D-моделей предлагаются технологией конструктивной твердотельной геометрии (Constructive Solid Geometry – CSG). В этом случае сложные объекты “собирают” из простых, полученных кинематическими методами посредством булевых операций. Основным недостатком данной технологии, сдерживающим ее

распространение, является ограниченность класса моделей, которые можно построить кинематическими методами.

По нашему мнению, вполне возможно расширение кинематических методов и моделей, в частности предлагаемым ниже инструментарием, а преимущества, которыми обладают кинематические модели, делают их использование в концептуальном проектировании более оправданным.

При помощи кинематических методов создается твердотельная модель, образующаяся в процессе движения замкнутого формообразующего контура. Контур может быть плоским или иметь сложную пространственную конфигурацию. Движение может быть поступательным, вращательным или по произвольной траектории. Исходными данными для построения модели являются контуры и кривые, близкие по смыслу к эскизу или чертежу объекта, благодаря чему процесс моделирования более привычен для художника, дизайнера и прост для понимания. Возможность параметризации модели на базе исходных параметризованных кривых и контуров значительно упрощает внесение коррективов в модель и ее повторное использование (создание компактных библиотек моделей) притом, что остается простота, наглядность и, самое главное, технологичность модели.

В задачах концептуального проектирования преимущества CSG-представления геометрических моделей и кинематического способа их построения проявляются в следующих аспектах:

1. Меньшее по сравнению с моделированием в системах, реализующих технологию BRep, время до получения конечного результата.
2. Возможность различных оценочных расчетов на базе твердотельных моделей и их компонок без применения сложного мат. аппарата (оценка расхода материала, оценка сложности конструкции, технологичности и т.д.).
3. Возможность повторного использования разработанных ранее моделей за счет создания библиотек параметрических моделей.
4. Переход в стадию рабочего проектирования и непосредственно конструкторско-технологическая проработка начинается с разработанных в концептуальной стадии эскизов, параметрических моделей, 3D-моделей, а не с «чистого листа», т.е. возможно использование геометрической модели концептуального проекта на дальнейших стадиях проектирования.

3. СРЕДСТВА РАБОТЫ С КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ

Функциональность и универсальность концептуального проектирования на базе CSG, с одной стороны, и удобство и простота с другой, требуют соответствующих инструментов для работы с кинематическими геометрическими моделями, обеспечивающих создание и редактирование эскизов, построение элементарных 3d-моделей, определение параметров модели и расчет геометрии на основе заданных значений параметров, компоновку сложных моделей из элементарных. Качество и время, затрачиваемое на разработку концептуальной геометрической модели, напрямую зависит от характеристик данных инструментов.

3.1 Построение элементарных моделей

Элементарные модели являются составными элементами сложной компоновки. Главные недостатки систем, реализующих кинематический синтез, проявляются в том, что с помощью предлагаемых ими инструментов можно строить достаточно небольшой класс элементарных моделей, и при построении сложного объекта приходится разбивать его на множество составных частей, даже если конструктивно он представляет собой единое целое. Также проблематично построение моделей объектов, содержащих скульптурные поверхности.

Путь к преодолению этих недостатков – определение вместе с движением формообразующего контура его топологических преобразований. В предлагаемом нами инструментарии кинематического синтеза ГМ методы построения моделей делятся на два класса – без изменения топологии формообразующего контура и с преобразованием формообразующего контура по направляющим кривым (профилям).

Первый класс методов предназначен для построения простейших моделей [2], таких как призма, вал, кольцевой объект, винтовой объект (рис. 1).

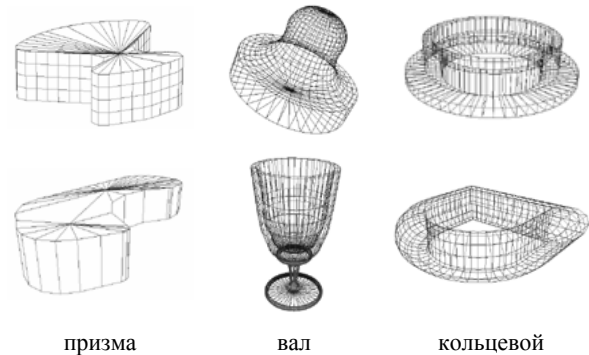


Рисунок 1: Простейшие кинематические ГМ

Второй класс методов предназначен для построения более сложных моделей (изоморфных и аморфных). Изоморфная модель задается сечением, представляющим собой формообразующий контур и одним или двумя профилями, определяющими масштабирование формообразующего контура в плоскости, перпендикулярной траектории его движения (рис. 2, а). Аморфная модель предназначена для синтеза более сложных геометрических форм, в том числе содержащих скульптурные поверхности [3]. Она задается произвольным набором сечений и профилей, образующих связный каркас модели (рис. 2, б).

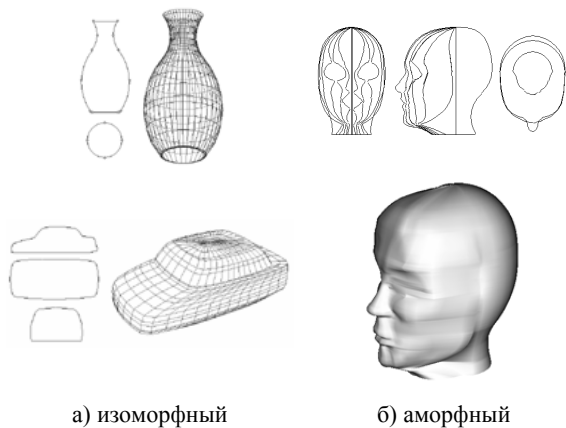


Рисунок 2: Изоморфные и аморфные ГМ

Важным фактором, оказывающим влияние на скорость и эффективность процесса создания элементарных моделей, является удобство работы с моделью, эскизными контурами и кривыми. В рамках предлагаемых инструментов корректировка модели происходит интерактивно – изменения в исходных контурах немедленно приводят к соответствующим изменениям в 3D модели. Возможно определение новых профилей и сечений путем извлечения контуров в нужных позициях из первоначально полученной модели. Возможность параметризации моделей также является фактором повышения эффективности процесса моделирования – как элементарных моделей, так и сложных компоновок.

3.2 Параметризация кинематических геометрических моделей

Параметризация в ходе концептуального проектирования – это экономия времени и снижение себестоимости проектирования. Эти преимущества достигаются за счет:

- более простой и быстрой модификации ГМ при исправлении ошибок и рассмотрении различных вариантов ГМ;
- использования банка параметрических ГМ (эскизов);
- автоматизированного решения большого числа геометрических задач, возникающих в процессе проектирования.

Параметрическое моделирование предполагает использование параметрических геометрических моделей (ПГМ). Основные задачи параметрического моделирования:

- определение отношений и параметров ПГМ;
- расчет ГМ по заданным параметрам ПГМ.

Выделяют 3 вида отношений, используемых в параметризации ГМ: геометрические, размерные и алгебраические отношения.

Геометрические отношения – отношения между элементами ГМ, имеющие топологический характер. Примерами геометрических отношений являются инцидентности, параллельности, ортогональности, касания геометрических примитивов. Они не имеют параметров.

Размерные отношения – отношения, определяющие какие-то количественные характеристики ГМ или её элементов.

Примерами размерных отношений являются длина отрезка, радиус дуги, расстояние между прямыми, угол между отрезками и другие размеры чертежа или эскиза. Размерное отношение обычно имеет один параметр.

Алгебраические отношения – отношения между параметрами элементов ГМ и размерных отношений, задаваемые в виде алгебраических уравнений и неравенств. Эти отношения обычно имеют задачно-ориентированный характер. Примерами алгебраических отношений являются пропорциональные соотношения величин элементов ГМ, эргономические/конструкторские/технологические/экономические ограничения.

Автоматизация работы с отношениями ПГМ подразумевает:

- автоматическое определение (распознавание) присутствующих в неявном виде геометрических отношений;
- автоматическое определение (синтез) некоторых наиболее часто используемых видов размерных отношений (размеров);
- автоматическое определение (синтез) размеров полностью определяющих конструкцию по определенным пользователям правилам;
- автоматическое определение (синтез) некоторых алгебраических задачно-ориентированных отношений;
- средства редактирования всех видов отношений.

Автоматизация процесса определения отношений и параметров ГМ подразумевает так же задачу анализа корректности/полноты/непротиворечивости определенных отношений.

Существует несколько подходов к организации параметрического моделирования ГМ [4]. Для концептуального проектирования наиболее подходящей является идеология «мягкой параметризации» (работа с недоопределенной системой связей) – режим параметрического конструирования, который позволяет конструктору работать, не задумываясь о порядке, в котором определены или учтены связи, а также об их достаточности для полного описания модели.

Расчет ГМ по заданным параметрам в рамках подхода «мягкой параметризации» подразумевает синтез системы уравнений, описывающих ГМ и разрешение этой системы. Систему уравнений, описывающую ГМ можно синтезировать, используя методы формального логического синтеза. В общем случае эта система нелинейна, поэтому предлагается её решать методами интервального анализа [5].

Исходя из структурных особенностей КГМ, параметрическое моделирование разбивается на параметризацию элементарных КГМ и параметризацию составных КГМ (сборок). Параметризация составной КГМ (сборки) сводится к параметризации составляющих её элементарных КГМ и параметризации их взаимного положения, причем некоторые элементарные КГМ могут модифицироваться взаимозависимо.

3.3 Компоновка сложных моделей и сборок

Для выполнения ряда прикладных задач, например, вычисление площади поверхности и т. п., удобнее иметь представление составных КГМ в полигональном виде. В этом же виде удобно экспортировать составные КГМ в различные системы геометрического моделирования, или включать в

состав сборки полигональные ГМ, импортированные из других систем геометрического моделирования.

Для получения полигональной ГМ из составной КГМ выполняется триангуляция КГМ, входящих в состав сборки, с последующим выполнением булевских операций над полученными триангулированными моделями. Имея на данном этапе информацию о необходимой точности, степени детализации и назначении получаемой полигональной ГМ можно настроить алгоритмы триангуляции и выполнения булевских операций для получения оптимальной полигональной аппроксимации. В этом заключается одно из достоинств данного метода по сравнению с чисто полигональным проектированием, когда приходится либо жертвовать производительностью, увеличивая количество полигонов и, соответственно, качество визуализации и точность вычислений, либо жертвовать качеством, ограничивая количество полигонов с целью получить приемлемую производительность.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе описываются методы работы с кинематическими геометрическими моделями в концептуальном проектировании, и в частности, методы создания, параметризации и компоновки данного типа моделей. В работе показано, что КГМ достаточны для решения задач, возникающих в концептуальном проектировании, а предлагаемые методы работы с ними удовлетворяют требованиям скорости и низкой себестоимости разработки концептуальной геометрической модели.

Описанные выше идеи и методы реализованы в рамках системы концептуального дизайна CONCEPT (ИжГТУ, Ижевск), предназначенной для обучения дизайнеров и специалистов в области САПР.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Les A. Piegl, Wayne Tiller. The NURBS Book. Springer Verlag, 650 p.
- [2] Кучуганов В.Н., Лопаткин А.Е. «Язык описания трехмерных сцен. Версия 2». Программирование, 1996, №2, с. 70-75
- [3] Кучуганов В.Н., Харин В.В. Кинематические геометрические модели в концептуальном проектировании. Труды конференции Графикон 2003, с. 424-428.
- [4] Борисов С.А., Смолянинов В.В., Терентьев М.Н. Способы создания параметризованной геометрической модели. <http://www.cosmos.rcnet.ru/articles/param.html>
- [5] Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления: Пер. с. англ. – М.: Мир, 1987. – 360 с.

About the author

Vasily Yermilov is a post-graduate student at Izhevsk State Technical University, CAD Systems Dept. His contact email is ermilov@udm.net.

Vladimir Kharin is a post-graduate student at Izhevsk State Technical University, CAD Systems Dept. His contact email is woldemar@udm.net.

Mikhail Shalak is a post-graduate student at Izhevsk State Technical University, CAD Systems Dept. His contact email is shalak@newmail.ru.