

ленными весовыми коэффициентами, остается определить те допуски, которые следует поменять в первую очередь, чтобы максимально оптимизировать итеративный процесс имитации допусков.

Рассмотренные выше алгоритмы, предлагаемые теорией графов, позволяют легко решить и эту задачу.

Предложенная в нашей работе теория позволяет представлять топологию и структуру сборки и проводить анализ сборки с учётом допусков. Данная теория реализована в автоматизированной системе проектирования «ГеПАРД», разрабатываемой на кафедре «Технология машиностроения» Иркутского государственного технического университета.

Литература.

1. Журавлёв Д.А., Грушко П.Я., Яценко О.В. О новых дифференциально-геометрических подходах к автоматизированному проектированию сборок с учётом допусков. // Вестник ИрГТУ, № 12, 2002.-с. 82-92.
2. Гаер М.А. Разработка и исследование геометрических моделей пространственных допусков сборок с использованием кватернионов. Кандидатская диссертация. Иркутск 2005.
3. Гаер М.А. Граф сборки с учётом допусков.//Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения», 2004 г. с.62-64.

Автоматизированное проектирование сборок с пространственными допусками на основе интервального анализа

к.т.н., доц. Яценко О.В.

Иркутский государственный технический университет

Роль систем автоматизированного проектирования в создании сложных высокотехнологичных изделий очевидна: геометрические модели, создаваемые в САД системах, служат отправной точкой любых инструментов инженерного анализа и подготовки производства. Однако, несмотря на то, что современные САД системы достигли определенной степени зрелости, им присущи функциональные недостатки, носящие принципиальный характер и не позволяющие производителям систем и их пользователям шагнуть на качественно новый уровень производительности и эффективности проектирования. Рассмотрим лишь некоторые проблемы, связанные с неполной функциональностью САД систем.

Как известно, в работе конструктора большой процент составляют задачи внесения изменений, представляющие собой достаточно рутинную работу - например, приходится детализовать заново уже известные узлы и детали. Кроме того, большая часть проектов являются модификацией или модернизацией существующих конструкций. Автоматизация решения таких задач позволила бы уделять больше времени критически важным узлам, поиску оригинальных и оптимальных конструктивных решений. К сожалению, САД системы не отражают специфику указанных задач, прежде всего вследствие невозможности поддерживать естественный режим проектирования, подразумевающий нисходящую передачу точностных геометрических требований по этапам проектирования вплоть до фазы рабочего проектирования. Хотя в системах имеются различные функции, позволяющие накапливать и организовывать информацию о проектируемых сборках, отсутствие геометрического описания диапазона допустимых отклонений сборки и ее компонентов как неотъемлемой части соответствующих 3D моделей превращает работающие узлы в наборы деталей бесполезные при внесении изменений или создании нового проекта. Для решения этих задач сборка должна существовать как функциональная единица, сохраняющая идею конструкции путем отражения связей между деталями, заложенных проектировщиком с помощью точностных требований. Без этого невозможно и создание действительно эффективной рабочей среды, в которой участники процесса проектирования разного уровня иерархий и специализаций могли бы проводить различные виды анализа сборок и работали бы над общим проектом без риска потерять цель проектирования. Наличие указанных выше функций в САД системах позволило бы

достигнуть реальной интеграции автоматизированного проектирования с приложениями подготовки производства.

Еще более серьёзная проблема связана с особенностями процесса проектирования в САД как таковым. Проектирование - это процесс выбора оптимального решения из набора альтернатив при наличии комплекса разнообразных, часто взаимосвязанных и противоречивых ограничений. Поэтому ввод конкретных значений параметров – единственная возможность для конструктора на сегодняшний день – создаёт систему жёстких ограничений, вызывая конфликты на последующих стадиях проектирования и заставляя конструктора вновь и вновь действовать методом проб и ошибок. Ясно, что в ситуации, когда параметров несколько, и они коррелируют, оптимальное решение вряд ли будет найдено. А на стадии концептуального проектирования фактической информации очень мало. Не потому ли средства поддержки этой стадии проектирования почти полностью отсутствуют в коммерческих САД системах?

В основе этих фундаментальных недостатков лежит проблема математического представления сложной геометрии и связанных с ней вычислительных операций. В настоящее время в академических кругах предлагаются различные математические концепции САД нового поколения, и идет поиск новых методов реализации традиционных задач автоматизированного проектирования. Представляется, что широкие возможности в этом плане открывает использование интервальной математики [1] [2], [3], [4].

Диапазон прикладных задачи, решаемых с помощью интервальных вычислений, достаточно широк. Применение этих методов возможно всюду, где адекватным способом описания неопределенности, содержащейся в исходных данных и/или результате, является указание границ неизвестной величины. Такой способ математической формализации во многих случаях оказывается значительно более простым и естественным, чем, например, вероятностно-теоретический подход [5].

В работе [6] был дан обзор методов интервального анализа, которые могут быть полезны в вычислительной геометрии. Также интервальный анализ использовался для аппроксимации [7] и оценке границы [8] интервальной кривой Безье. Авторы работ [9], [10], [11] показали, как с помощью интервального анализа решать проблемы пересечения поверхностей и пространственных кривых, важные при автоматизированном формировании траектории обработки скульптурных поверхностей. В работе [12] интервальные методы были использованы для ограничения ошибок в вычислении топологических свойств многогранников, имеющих допуски. В ряде работ, например [13], [14] авторы используют интервальный анализ для оптимизации механических систем. Авторы [15] представлен интервальный метод моделирования и анализа допусков и зазоров в механизмах. На основе анализа численных примеров делается вывод, что представление в виде интервальных чисел приводит к более качественной и реалистической оценке результатов анализа по сравнению с вероятностными методами. В работе [16] представлен метод назначения допусков, позволяющий найти оптимальные значения допусков и зазоров в сборках, которые будут не только минимизировать целевую функцию, но также и удовлетворять требуемые функциональные ограничения и конструктивные ограничения. Также авторы сравнивают и анализируют различные функционально-стоимостные модели стоимости изготовления.

В статье [17] представлен новый подход к решению геометрических ограничений, параметры которых неявны и лежат в определенном интервале. Интерес представляет метод решения ограничений, когда диапазон параметров представлен нетривиально широкими интервалами. Этот метод автор успешно применяет, в частности, к решению проблем обеспечения точности движения связей планарных механизмов. В работе [18] для представления точностной информации предлагается использовать комплексный метод, включающий использование матрицы якобианов, основанную на инфинитезимальном моделировании кинематических цепей в робототехнике и модель представления поля допуска, использующую

винты малых смещений и ограничения для установления крайних пределов варьирования точек и поверхностей. При этом интервальная алгебра используется для описания границ допуска при размерном анализе. В [19] модальный интервальный анализ как логическое и семантическое расширение классического интервального анализа используется для представления и анализа допусков, что позволяет более описать идею конструкции с помощью точностных требований.

В данной работе предлагается концепция системы автоматизированного проектирования, позволяющая осуществлять проектирование сборочных единиц с учётом пространственных допусков и основанная на использовании интервальной математики.

Структура CAD системы представлена на рисунке 1. Ниже даны функциональные описания модулей системы.



Рис. 1. Архитектура CAD системы.

1. Ядро системы

Главная функция ядра – техническое обеспечение процесса создания геометрии и операций с нею, необходимых при проектировании сборок и компонентов. Для полноценного задания геометрии изделия введены функции моделирования допусков, что позволяет сделать точностные требования неотъемлемой частью модели изделия с первых шагов проектирования до стадии рабочего проекта. В качестве основы моделирования допусков используются методы интервальной математики [20, 21]. Коммерческие пакеты интервальных вычислений, например [22] в силу своей универсальности не могут отвечать требованиям отдельных областей приложений или быть тесно интегрированными с ними. Поэтому закономерным шагом является внедрение блока интервальных вычислений в ядро системы. Представленная на рис.1 структура ядра подразумевает применение стандартного ядра геометрического моделирования, например ACIS, Parasolid, и тесно интегрированного с ним подмодуля интервальных вычислений. Другим решением могло бы стать специальное ядро геометрического моделирования, построенное на основе интервальной математики. Оба варианта имеют плюсы и минусы. Поэтому решение вопроса об оптимальной структуре ядра

системы требует специальных исследований. С точки зрения функциональных возможностей, ядро должно обеспечивать полномасштабное гибридное моделирование.

2. Моделирование сборок. Моделирование компонентов

Система, поддерживающая 3D представление допусков при моделировании, позволит осуществлять полноценное проектирование сборок. Главное преимущество состоит в том, что функциональные требования (ограничения) сборки могут быть переданы на составляющие ее компоненты. Исходя из этих требований, формируется геометрия, размеры и ограничения на определенные компоненты, детали и поверхности. Таким образом, возникает три взаимосвязанных группы функций моделирования – моделирование сборок, моделирование компонентов и организация и управление геометрическими и размерными взаимосвязями (ограничениями).

Функции моделирования сборок должны предусматривать возможность описания (передачи) функциональных требований при наличии достаточно абстрактной геометрии, а также работу с этой геометрией. Поэтому системе необходимы функции создания компоновок, которые очень слабо представлены в современных CAD системах. Также должен обеспечиваться как явный, так и неявный (динамический) режим моделирования [23].

Основные по функциональной важности ограничения возникают на стадии концептуального проектирования, и от их соблюдения зависит функционирование сборки. Наиболее распространенные ограничения – размеры и допуски, но в системе необходимо предусмотреть поддержку и других видов ограничений. В ходе развития проекта количество ограничений увеличивается, их взаимосвязи усложняются. Постепенная конкретизация размерных и точностных связей сборки через сопряженные детали позволит на стадии рабочего проекта определять размеры и допуски автоматически, полуавтоматически или интерактивно. Возможен также вариант проектирования «снизу-вверх», когда проектируются отдельные детали, назначаются допуски на них и «собирается» сборка, хотя он менее желателен с точки зрения обеспечения функциональных требований, т.к. в этом случае требуется проведение анализа на собираемость. Управление ограничениями является основой моделирования сборки.

Для моделирования компонентов также необходимо обеспечить возможность нисходящего и восходящего проектирования. Важными функциями являются организация записи процесса проектирования, обеспечивающая возможность «отката назад» до определенного шага, создание макросов, обеспечение эффективной работы с каталогами и стандартами. Накопление и систематизация данных об особенностях проектирования в конкретных подразделениях в дальнейшем позволит организовать для проектирования типовых сборок «шаблоны» процессов проектирования в полуавтоматическом режиме (wizards).

3. База данных и интерфейс БД

БД содержит информацию, необходимую при проектировании – стандарты, каталоги стандартных компонентов, каталоги моделей компонентов – деталей и сборок со всей точностной информацией, макросы, записи процесса проектирования тех или иных компонентов и т.д. Для полноценной работы с этой информацией необходим интерфейс базы данных.

4. Различные виды анализа сборочных единиц

Для обеспечения ускорения проектирования сборок, разработки оптимальных конструкций, облегчения процесса сборки/разборки и т.д. необходимо, чтобы система имела возможности анализа. Основными являются анализ технологичности сборки и анализ собираемости. Должна быть предусмотрена возможность расширения данного модуля для решения специальных задач - например, анализ стоимости, моделирование сборочных линий или моделирование с учетом быстрой разборки, переработки, требований окружающей среды, оценка процесса сборки и т.д. Функционирование модуля анализа осуществляется в процессе проектирования сборки, поэтому он должен быть тесно связан с модулем моделирования. Возможность использования в ходе анализа моделей с действительной, а не номинальной

геометрией и тесная связь с модулем моделирования, позволяет анализировать сборки в процессе проектирования, а не на стадии готовых проектов, что обеспечивает истинный функциональный анализ сборки.

Для организации групповой проектной работы предлагается выделить два типа пользователей – конечный пользователь («конструктор») и менеджер системы («руководитель проекта»). Ниже даны характеристики соответствующих типов пользовательских интерфейсов.

5. Интерфейс «конструктора»

Модуль должен обеспечить рабочую среду для моделирования в восходящей и нисходящей манере («сверху-вниз» и «снизу-вверх»), а также в смешанном режиме, как это более свойственно традиционному процессу проектирования. Одной из важных функций является возможность делать наброски (sketching). Выбор того или иного режима работы может быть сделан конструктором, но в некоторых случаях, например, на стадии рабочего проектирования уже накоплены существенные ограничения, исходя из которых, система будет предлагать определенный режим работы, которому должен четко следовать конструктор. Предполагается, что решение рутинных задач будет происходить полуавтоматически, но в некоторых случаях решение может быть дано только пользователем в интерактивном режиме.

6. Интерфейс «руководителя проекта»

Роль руководителя проекта заключается в выработке и передаче основных функциональных требований к сборке, точностных требований, рабочих принципов, а также предварительных конструктивных решений, зафиксированных в виде компоновки, группе конструкторов, работающих над проектированием сборки. Таким образом, он имеет возможность участвовать в проектировании сборок, выполняя свои традиционные функции. Кроме того, руководитель может осуществлять специальные дополнительные администраторские задачи. Это организация и отслеживание процесса наполнения базы данных компонентами, присутствующими данному подразделению, организация предыдущих проектов, организация процесса накопления знаний по проектированию в виде определенных правил, сохранение удачных конструкций отдельных деталей и компонентов и т.д.

7. Внешний интерфейс

Полноценное функционирование САД системы невозможно без обмена данными между участниками процесса проектирования. Также существуют другие системы проектирования и изготовления, системы САЕ, системы специальных видов анализа, с которыми необходимо взаимодействовать. Для связи с приложениями вне системы проектирования служит интерфейс, который должен обеспечивать обмен данными изделия через стандарт STEP. При необходимости, должна быть предусмотрена возможность организации прямых интерфейсов конкретным системам, хотя это и нежелательно с точки зрения достижения истинной интеграции приложений.

Заключение

Предлагаемая архитектура системы носит предварительный характер. Использование интервальной математики открывает интересные перспективы для реализации функций эскизного проектирования и даёт новый взгляд на возможности реализации процесса автоматизированного проектирования в целом. Поэтому в дальнейшем более подробно будут рассмотрены функции отдельных модулей и некоторые технические аспекты функционирования системы.

Литература

1. Moor R.E. Interval analysis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1966, 328 p.
2. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления.– М.: Мир, 1987. – 356с.
3. Шокин Ю.А. Интервальный анализ. – Новосибирск: Наука, 1981. – 112 с.
4. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. – Новоси-

бирск: Наука, 1986. – 204 с.

5. Kreinovich V. Data processing beyond traditional Statistics: Applications of interval Computations. A brief Introduction. Proceeding of APIC-95, pp.130-138.
6. Mudur S.P., Kopakar P.A. Interval methods for processing geometric objects. IEEE Computer Graphics and Application, 4(2): 7-17, February 1984.
7. Sederberg T.W., Farouki R.T.: Approximation by Interval Bezier Curves, IEEE Computer Graphics and Applications 12 (5) (1992), pp. 87–95.
9. Lin H., Liu L., and Wang G. Boundary Evaluation for Interval Bezier Curve, Computer-Aided Design 34 (9) (2002), pp. 637–646.
10. Kearfott P.B., Xing Z. Rigorous computation of surface patch intersection curves, 1993, Dpt. of Mathematics Report, University of Southwestern Louisiana, 14 p.
11. Schramm P. Intersection problems of parametric surfaces in CAGD. Computing, 53: 355-364, 1994.
12. Sederberg T.W., Parry S.R. Comparison of three curve intersection algorithms. Computer-Aided Design, 18(1):58-63, 1986.
13. Segal M. “Using Tolerances to Guarantee Valid Polyhedral Modeling Results”, Computer Graphics, 24(4), August 1990, pp.105-114.
14. Rao S.S. and Cao L.: Optimum Design of Mechanical Systems Involving Interval Parameters, ASME Journal of Mechanical Design 124 (2002), pp. 465–472.
15. Rao S.S. and Berke L., “Analysis of uncertain structural systems using interval analysis”, AIAA Journal, Vol.35, No.4, pp.727-735.
16. Woo W., Rao S.S. Interval Approach for the Modeling of Tolerances and Clearances in Mechanism Analysis. Journal of Mechanical Design - July 2004 -Volume 126, Issue 4, pp. 581-592.
17. Rao S., Wu W. Optimum tolerance allocation in mechanical assemblies using an interval method. Engineering Optimisation Volume 37, Number 3, April 2005, pp. 237-257(21).
18. Mata N. A constraint solving-based approach to analyze 2D geometric problems with interval parameters. Proceedings of the sixth ACM symposium on Solid modeling and applications, Ann Arbor, Michigan, United States, 11 – 17pp., 2001.
19. Desrochers A., Ghie W., Laperriere L. Application of a Unified Jacobian Torsor Model for Tolerance Analysis. Journal of Computing and Information Science in Engineering -March 2003 - Volume 3, Issue 1, pp. 2-14.
20. Wang Y. Semantic tolerancing with generalized intervals, Computer-Aided Design & Applications, 4(1-4), 2007, 257-266.
21. Журавлев Д.А., Яценко О.В. Метод дифференциальных матриц для описания отклонений деталей. // Повышение эксплуатационных свойств деталей машин технологическими методами: Сборник научных трудов. - Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2000. -с. 82-86.
22. Журавлев Д.А., Яценко О.В. Интервальный анализ собираемости деталей.// Повышение эксплуатационных свойств деталей машин технологическими методами: Сборник научных трудов. - Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2000. -с. 60-68.
23. Huvonen E., De Pascale S. A new basis for spreadsheet computing: Interval Solver for Microsoft Excel. In Proceedings of 11th Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, AAAI Press, Menlo Park, California, 1999, pp.102-112.
24. Журавлев Д.А., Яценко О.В. Методы моделирования на основе переменных. //Управление технологическими процессами машиностроительного производства: Сборник научных трудов. - Иркутск: Издательство ИрГТУ, 1998. - с. 77-83.