

УДК 681.3.06

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ТЕХНИКЕ

Ю.С.Завьялов

I. Геометрические задачи, возникающие при проектировании и технологической подготовке производства. Процесс создания новых объектов или изделий состоит из трех этапов: проектирования, технологической подготовки производства и технологического процесса изготовления.

Этап проектирования - это наиболее творческий из них. Составной его частью является разработка геометрических форм изделий. Первую группу геометрических задач составляют задачи компоновки блоков или узлов изделия, т.е. определение такого их расположения и пространственного размещения, которое бы отвечало условиям нормального функционирования. Второй круг задач - это образование внешних форм изделия. В одних случаях, например в приборостроении, они играют подчиненную роль. В других - функциональные качества изделия решающим образом зависят от внешних форм. Так обстоит дело с аэродинамическими обводами летательных аппаратов, корпусами судов и т.п. Поэтому при проектировании таких изделий ни одна из существенно важных задач не может решаться в отрыве от разработки формы. При этом имеют значение и эстетические взгляды проектировщика.

На этапе технологической подготовки производства осуществляется проектирование технологических процессов. Типичные геометрические задачи этого этапа суть: в машиностроении - расчет формообразующей, контрольно-измерительной и сборочной оснастки (шаблоны, эталоны, стапели, приспособления); в легкой промышленности - расчет лекал для раскроя тканей и кож, колодок обуви. В последние десятилетия в связи с развитием оборудования с программным управле-

нием к традиционным работам добавилось создание управляющих программ, трудоемкой частью которых является расчет траекторий инструмента. В случае объектов сложной формы на этом этапе, как и при проектировании, производится переработка большого объема геометрической информации, содержащейся в проектной документации на изделие.

И проектирование, и технологическая подготовка производства сложных изделий - длительные и трудоемкие процессы. Проблемы сокращения и удешевления последних всегда были в числе самых актуальных. Существенный прогресс в их решении был достигнут на путях автоматизации с использованием вычислительной техники. Остановимся на связанных с этим вопросах.

2. Сплайн-функции - универсальный математический аппарат для представления и обработки геометрической информации. Задача представления и хранения геометрической информации в технике традиционно решается путем изображения объекта на плоскости в виде комплекта чертежей, сопровождаемого числовой информацией в большем или меньшем объеме. При использовании ЭВМ вся информация об объекте должна допускать числовую интерпретацию.

За последние двадцать лет различные конструкторские бюро создали ряд способов представления и обработки геометрической информации на ЭВМ для своих изделий. Для этих целей использовались, главным образом, определенного вида аналитические кривые и поверхности, например, кривые и поверхности второго порядка, выбором параметров которых удается получить требуемую форму деталей и агрегатов. Принципиально от такого приема не отличается так называемый "кинематический" способ, при котором поверхность задается уравнением плоской кривой с коэффициентами, зависящими от координаты некоторого направления, пересекающего ее плоскость. Впрочем, подобрать математическое представление поверхности удастся лишь в сравнительно простых ситуациях. В большинстве случаев создаются лишь наборы кривых - каркас поверхности детали или агрегата, архитектурного сооружения и т.п. После построения каркаса нужно доопределить поверхность, указав правило вычисления координат точек, не лежащих на линиях каркаса. Все такие способы оказываются узкоспециализированными, не пригодными даже в качестве отраслевых.

Математический аппарат, удобный для применения в автоматизированных системах обработки информации весьма общего назначения, дала теория сплайн-функций. Само ее развитие во многом стимулировалось потребностями инженерной практики.

Представление геометрических объектов – кривых и поверхностей – осуществляется так называемыми параметрическими сплайнами. Это совокупности троек сплайн-функций, зависящих от одного параметра при описании пространственной кривой $x = S_1(u)$, $y = S_2(u)$, $z = S_3(u)$ и от двух параметров при описании поверхностей $x = S_1(u, v)$, $y = S_2(u, v)$, $z = S_3(u, v)$. При этом кривая состоит из M однородных по структуре дуг, а поверхность – из MN такого рода сегментов. Последние имеют вид криволинейных четырехугольников, однако можно строить сплайновые поверхности и на других фигурах, например, треугольниках.

В инженерной практике наибольшее распространение получили кубические сплайны и сплайны первой степени. Кубические сплайны используются при описании сложных кривых и поверхностей на этапах проектирования и технологической подготовки производства. Сплайны первой степени, главным образом, употребляются при визуализации кривых в приборах машинной графики, при обработке деталей на станках с ЧПУ, т.е. при использовании устройств, реализующих линейный закон перемещения между двумя позициями. Из других типов сплайнов употребляются на практике некоторые виды обобщенных линейных сплайнов (дискретные, с натяжением), рациональные сплайны, локальные нелинейные сплайны.

Сплайны отличаются от других способов описания геометрических объектов лучшими аппроксимативными свойствами. При одинаковых вычислительных затратах точность приближения сплайнами будет выше, а при одинаковой точности уменьшается объем вычислений. Кроме того, они приближают одновременно дифференциальные характеристики поверхности (нормаль, кривизну) и интегральные характеристики (длины, площади, объемы).

Интерполяционные сплайны обладают интересным экстремальным свойством. Оно было использовано для формулировки и решения задачи сглаживания исходных данных. Помимо чисто геометрических расчетов, аппарат сплайн-функций успешно применяется для решения физических задач (расчеты конструкций на прочность, динамические расчеты и тому подобное.)

Главное и решающее свойство сплайнов состоит в том, что построение на их основе алгоритмы решения разнообразных задач эффективно реализуются на ЭВМ. Они характеризуются однородностью вычислительных процедур, что крайне важно при программировании.

Указанные свойства сплайнов сделали их универсальным аппаратом для моделирования объектов в машиностроении, в легкой промышленности, архитектуре, картографии, автоматизации научных исследований. При использовании сплайнов для описания геометрических объектов в разных предметных областях нужно уметь строить координатные сетки, обеспечивающие выполнение конструктивных требований к реализуемым на них сплайновым поверхностям. Это, по существу, единственная нестандартная задача. Все остальные, или почти все, геометрические операции можно проводить стандартным образом.

3. Принципы построения автоматизированной системы обработки данных. Первый период развития автоматизированных систем в 60-х годах характеризовался созданием систем, обслуживающих какой-либо один, хотя бы и сложный вид работ. В мировой практике известны системы автоматизации проектирования конкретных изделий, автоматизированные системы технологической подготовки производства, в частности система автоматизации плазово-шаблонных работ, выполненная институтом математики СО АН СССР совместно с научными подразделениями и предприятиями промышленности в 1965-1972 гг. Сюда же относятся и развитые системы автоматизации программирования для оборудования с ЧПУ. Описание некоторых подобных систем представлено в докладах и сообщениях, публикуемых в данном сборнике.

В одних случаях такие системы полностью удовлетворяли потребности производства. В других - они автоматизировали какой-то этап производства, не затрагивая остальных его звеньев. В третьих - на разных этапах применялись разные системы. Это снижало эффективность автоматизации. Поэтому уже в начале 70-х годов стала ясной необходимость создания интегрированных систем, обеспечивающих автоматизацию всего производственного цикла, начиная от конструирования и кончая проектированием технологического процесса изготовления.

Главная трудность в создании интегрированных систем заключается в сложности их программного обеспечения. В научной литературе были высказаны идеи о принципах построения таких систем. Одна из них - это создание систем, проблемно ориентированных на конкретные виды изделий. Другая - создание универсальной системы, пригодной, например, для всего машиностроения. В первом случае реализация наиболее простая, но ее нужно выполнять для каждого изделия заново. На это требуются очень большие ресурсы. Создание же универсальной системы, как нам кажется, недостижимо на современном уровне развития вычислительной техники.

В 1974 г. в Институте математики СО АН СССР были сформулированы принципы построения интегрированной системы проектирования и технологической подготовки производства сложных изделий, а именно:

- основой системы является автоматизация геометрических построений и расчетов (блоки, обеспечивающие автоматизацию решения других задач, опираются на эту основу);

- все задачи: и конструкторские и технологические — решаются на основе единой информационной базы и единых средств обработки геометрической информации;

- система способна адаптироваться к конкретным предметным областям (авиастроение, автомобилестроение, турбостроение и т.д.) и изменяющимся условиям внутри данной области. Это обеспечивает универсальность и живучесть системы;

- программное обеспечение системы является трехуровневым.

I-й уровень базовый. Он включает программные средства общения с системой, управления базами данных и решения базового набора геометрических задач, не зависящих от конкретной предметной области, а также задач визуализации.

II-й уровень определяется предметной областью. Он обеспечивает автоматизированное решение задач (геометрических, физических, технологических), присущих изделиям указанного вида независимо от того, какие КБ и предприятия их проектируют и изготавливают.

III-й уровень учитывает изменяющиеся особенности предметной области, например, специфику работы разных КБ и различия в технологии производства на предприятиях отрасли. В процессе эксплуатации системы неизбежно потребуются вносить изменения, связанные с развитием конструкций и технологий. Они должны быстро учитываться и требовать не перестройки системы, а только ее пополнения.

В процессе адаптации система становится проблемно-ориентированной, что достигается несравненно более простыми средствами, нежели создание новых систем.

4. Технические средства автоматизированных систем. Автоматизированная система должна обладать способностью адаптации к различным вычислительным средствам. При переходе на новую вычислительную технику частичному изменению подлежит лишь базовый уровень системы. Уровни II-й и III-й от техники зависеть не должны.

Мощность вычислительных средств определяется сложностью задач, решаемых системой, особенно на II-м уровне. Предвидеть всевозможные ситуации здесь трудно. Что же касается чисто геометрической

ких задач, возникающих при производстве сложных изделий (самолеты), то для их решения требуются ЭВМ с быстродействием не менее 10^5 опер./сек, с объемом оперативной памяти 10^5 байт и долговременной памяти 10^8 байт. Этим требованиям отвечают ЭВМ серии ЕС от модели ЕС-1022 и выше.

Для эффективной работы системы необходимы терминальные устройства ввода/вывода информации, снабженные дисплеями, графопостроителями, видеоманитофонами для визуализации и фиксации математических моделей. Хорошие возможности в этом отношении дают комплексы АРМ-М на базе мини-ЭВМ СМ-3 и СМ-4. Наряду с удобством пользования, они обладают вычислительной мощностью, достаточной, чтобы выполнять сложные работы, при прибегая к помощи универсальных вычислительных машин.

5. Реализация автоматизированной системы. Изложенные принципы легли в основу автоматизированной системы, созданной в Институте математики СО АН СССР, с программным обеспечением на ЭВМ серии "Минск". В 1977-1979 гг. она была адаптирована для решения следующих проблем:

- технологическая подготовка авиационного производства и изготовление деталей и оснастки на станках с ЧПУ в едином непрерывном цикле. Этот вариант системы под названием "Самолет" внедрен в производство;

- проектирование и подготовка производства лопастей рабочих колес гидротурбин (система "Лопасть"). Данный вариант также находится в эксплуатации;

- проектирование и изготовление на станках с ЧПУ колес циркуляционных насосов (система "Колесо"). Находится в стадии освоения на производстве.

Успешная эксплуатация интегрированной системы в КБ и на предприятиях позволяет сделать вывод, что период ее научной проработки закончен. В настоящее время институт реализует базовый уровень автоматизированной системы на ЕС ЭВМ. Появилась возможность опираться на эти результаты и используя имеющиеся в стране достижения в решении конструкторских и технологических задач, адаптировать систему для различных отраслей народного хозяйства. Внедрение автоматизированных систем повышает качество всех работ, дает экономию материальных, а главное, людских ресурсов, повышает эффективность производства в целом.

Поступила в ред.-изд.отд.
20 апреля 1981 года