

выми, но и вертикальными и вообще под любым заданным пользователем углом с учетом «зон безопасности».

Подсистема генерации чертежа использует отдельные функциональные подпрограммы ИПП ГРАФОР и ПАД-СМ для формирования графического файла чертежа в формате МГИ. Перекодировщик и драйверы базовой графической системы ГРАФ-СМ обеспечивают перекодировку файла формата МГИ в формат метафайла ГКС для хранения чертежа в БД и вывод его на графические устройства АРМ-2.01.04/СМ-1420 (графический дисплей СМ-7316 и графопостроитель ПАГ-500 или др.).

Время формирования чертежа - в среднем 5—10 мин.

Для геометрического моделирования и формирования чертежа для каждого класса деталей (тела вращения и плоскостные) разработаны свои программы.

Заключение. Общение конечного пользователя с САПР-Д происходит с помощью многоуровневого меню и входного ЯОГМ, реализованных на базе мнемоники русского языка, и не требует от него специальных знаний по программированию.

САПР-Д обеспечивает разработку параметрических моделей типовых и комплексных деталей без составления программ на каком-либо ЯЗУ.

В САПР-Д можно не хранить чертежи деталей, достаточно хранить только ИМГД с тем, чтобы по запросу выдать твердую копию чертежа с помощью подсистем геометрического моделирования и формирования чертежа.

Базовые программные средства САПР-Д реализованы на языке Сл, прикладные — на Фортране-IV.

ЯОГМ и МТП обеспечивают описание не только математических моделей ограниченных геометрических тел, но и модификаторов формы и конструкторско-технологических характеристик этих тел, что делает САПР-Д удобным для практического применения в КБ, ТБ, НИИ и др.

САПР-Д реализована в виде диалоговой многопользовательской системы на АРМ-2.01.04/СМ-1420 с ОЗУ от 256 Кбайт и выше в операционной среде RSX-11M версии 4.1.

В настоящее время осуществляется перенос САПР-Д на ПЭВМ типа IBM PC AT PLUS, PS/2 и отечественные ПЭВМ, совместимые с ней, с последующей реализацией в САПР-Д проектирования корпусных деталей и деталей со скульптурными поверхностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сироткин Я. А., Бессмертнов А. Л., Дышанов В. В. и др. Инструментальная САПР деталей в составе интегрированной ГПС МД // ЭВМ в проектировании и производстве. — Л.: Машиностроение, 1990. — Вып. 4.

Поступила в редакцию 16 января 1990 г.

УДК 681.3.06 : 658.011.56

Л. Н. КСЕНОФОНТОВА, Е. К. РЯБОВ
(Куйбышев)

ИНТЕРАКТИВНЫЙ СИНТЕЗ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЧЕРТЕЖА

Современная практика автоматизированного проектирования предусматривает интеграцию систем проектной, конструкторской и технологической подготовки производства в единый комплекс. Инвариантная ком-

© 1990 Ксенофонтова Л. Н., Рябов Е. К.

появления комплекса — система геометрического моделирования (СГМ). Средствами СГМ создается модель, описывающая состав, форму и размеры конструкции. Одним из видов геометрической модели объекта является модель чертежа. Использование чертежа для описания объекта эффективно для определенного класса машиностроительных деталей, где чертеж наиболее удобен для ввода и достаточен для выполнения проектных процедур.

Диалоговая система ТМК — ДМ предназначена для моделирования машиностроительной конструкции посредством интерактивного ввода и редактирования ее чертежа [1]. Система позволяет размечать топкими линиями и обводить контуры проекций детали; формировать размеры и их предельные отклонения, знаки шероховатости, надписи и другие элементы оформления чертежа; производить аффинные преобразования, удаление и модификацию элементов; изменять размеры объекта и создавать архивы конструкций. В процессе диалогового формирования элементов чертежа автоматически генерируется геометрическая модель (ГМ) чертежа, реализующая принцип параметризации по истории построения [2]. ГМ разделена на части в соответствии с этапами прорисовки чертежа. Каждая часть характеризует определенный класс элементов чертежа, например тонкие линии разметки изображения, линии обводки, размеры, надписи и т. д. Модель каждой части включает топологическую, координатную и графическую компоненты. В топологической компоненте собраны сведения о составе, свойствах и связях элементов формируемого чертежа; в координатной — описано положение всех элементов в некоторой обобщенной системе координат; графика содержит видимый в данный момент фрагмент и предназначена для формирования дисплейного файла. Топология чертежа является базовой структурой: она наиболее компактна и достаточна для генерирования других компонент модели при вызове чертежа из архива или пересчете модели изображений по измененным параметрам. Основные в ГМ — уровни ЛИНИИ ПОСТРОЕНИЯ и КОНТУР.

Определим топологическую модель ЛИНИЙ ПОСТРОЕНИЯ (ЛП)

$$BL = (e_0, e_1, e_2, \dots, e_n)$$

как упорядоченную последовательность элементов — точек (P), прямых (L), окружностей (C) и лекальных кривых (S). Будем считать, что e_0 — независимая точка, e_1 — направляющая прямая, проходящая через e_0 ; пара (e_0, e_1) образует правую прямоугольную систему координат. Каждый из последующих элементов BL определяется совокупностью базовых отношений

$$e_n = (t, Q, b_1, b_2, \dots, b_M),$$

где t — тип элемента e_n ; Q — признак расположения; $\{b_m\}$ — набор базовых отношений. Количество базовых отношений M соответствует числу независимых параметров элемента, а именно: $M = 2$ при $t = P \vee L$; $M = 3$, если $t = C$, для $t = S$ принято $3 \leq M \leq 20$.

Базовое отношение

$$b_m = (E, \omega, \tilde{h}, q)$$

задается базовым элементом E , типом отношения ω , указателем числовой характеристики \tilde{h} и признаком ориентации q . Базовый элемент есть ранее определенная линия построения $E = e_j, j < n$. Указатель \tilde{h} обеспечивает выбор числового значения отношения из массива размеров $H = (h_0, h_1, h_2, \dots, h_k)$. В массиве H накапливаются размерные числа конструкции, заданные проектировщиком при вводе элемента e_n ; размеры $h_0 = 0$ и $h_1 = 90$ служат для указания принадлежности и касания элементов, параллельности и перпендикулярности прямых.

При отсутствии ограничений на протяженность линий построения для задания взаимного расположения элементов BL достаточно использовать только отношения расстояния и угла между ними. Тогда значения ω , возможные для сочетаний элементов $(e\omega E)$, описываются мн.

жеством $(l, \alpha, R, \emptyset)$. Здесь l обозначает отношение расстояния, α — отношение угла; если расстояние измеряется до центра окружности, то $\omega = l_c$, это же отношение используется вместо отношения угла между прямой и окружностью при их пересечении. Для окружности могут быть заданы в явном виде особые унарные отношения радиуса R и диаметра \emptyset . Используемый в практике конструирования координатный способ задания относительного расположения точек обеспечивается моделированием отношений ΔX и ΔY с помощью базовых прямых.

Признак q в каждом b_m необходим для уточнения расположения e_n относительно E . Если $t(e_n) = t(E) = L$ и отношение между ними $\omega = \alpha$, то $q = D \vee U$ и определяет вращение по часовой стрелке или против. Точечный элемент (точка или окружность) может находиться внутри или вне окружности, соответственно $q = I \vee O$. По отношению к ориентированной прямой точечный элемент может быть справа или слева и $q = R \vee F$. В свою очередь, направление прямой определяется следующим образом: если базовые элементы E_i и E_j являются точечными, то e_n направлен от E_i к E_j при $i < j$; если один из базовых элементов E — прямая и $\omega = \alpha$, то направление e_n выбирается так, чтобы заданный угол заключался между векторами направлений E и e_n . Направление кривой и ориентация элементов по отношению к ней определяются как для прямой, так как кривая в системе всегда ориентирована указанным порядком точек.

Признак расположения Q используется для выбора необходимого решения в случае, когда совокупность признаков q в базовых отношениях неоднозначно определяет положение e_n . Например, если точка задается отношениями l к точкам E_i и E_j при $i < j$, то $Q = R \vee F$ и определяет положение точки e_n относительно прямой, идущей от E_i к E_j .

Топологической моделью линий контура KL назовем совокупность ребер $\{r_i\}$ — отрезков линий из BL , ограниченных начальными P_n и конечными P_k точками. Ребро $r_i = (P_n, \tilde{e}_j, P_k, q)$ определяется номерами соответствующих элементов в структуре BL и ориентацией отрезка вдоль линии e_j .

Предложенная модель (BL, H, KL) допускает формирование набора линий построения и контура, необходимых для точного представления изображения чертежа произвольной сложности. Последовательность формирования и геометрические параметры линий построения определяются расположением и значениями конструктивных размеров данного изображения, поэтому вводимыми числовыми данными являются только размерные числа. Небольшой набор и все допустимые сочетания отношений с положительными и нулевыми значениями размеров позволяют оператору сформировать любой способ задания элементов BL , а также разметить изображение минимальным количеством линий построения. По значениям размерных чисел и связанным парам линий построения можно автоматически построить размерную сеть параметризованного чертежа. При изменении конструктором значений размерных чисел система производит пересчет координат и геометрических параметров линий разметки по топологическим отношениям. По связям линий контура с линиями построения происходит пересчет контуров изображения по измененным линиям построения. Выделение размерных чисел в отдельную компоненту топологической модели облегчает выборку и корректировку их для специализированных программ инженерных расчетов. Изменение истории построения чертежа может производиться стиранием элемента и переопределением размерной сети. Стирание элемента ведет к уничтожению цепочки производных от него примитивов. Если нет необходимости стирать все элементы цепочки, то нужно заранее изменить топологическую модель (историю построения) интерактивным переопределением размерной сети. Переопределение размерной сети производится путем «освобождения» или стирания некоторых существующих и формирования дополнительных размеров. Система корректирует топологию ЛП по новой размерной сети.

Для построения нескольких видов чертежа введено отношение v — «в проекционной связи», которое позволяет моделировать методы начертательной геометрии при построении элементов BL [3].

Проекционная связь устанавливается при указании проекции прямой и направления вектора взгляда вдоль нее на одном изображении и следа этой прямой на другом изображении чертежа. Два изображения, не связанные непосредственно вектором взгляда, при необходимости увязываются по аналогии с постоянной чертежа двумя проекциями одной точки. Моделирование проекционных связей в ТМК — ДМ позволяет не дублировать размеры между элементами на разных видах чертежа, дает возможность формировать размеры как на изображениях, где задавались метрические отношения между элементами, так и на изображениях, где эти размеры не искажаются. При изменении конструктивного размера на одной проекции соответствующую модификацию всех изображений параметризованного чертежа система производит автоматически.

Общими приемами построения топологических моделей элементов разных уровней являются формирование ссылочных структур, базирование на ранее построенных элементах и использование относительного размещения. Это позволяет синхронно пересчитывать геометрию элементов при изменении формы или расположения опорных элементов и выполнять функции редактирования. Представление топологии чертежа в виде кольцевой структуры размерных чисел, линий и текстов дает возможность вести формирование и модификацию их как в интерактивном режиме, так и в связи со специализированными программными модулями. С моделью чертежа могут быть согласованы модели сопутствующих схем и конструкций.

Язык ввода содержит обозначения объектов и действий над ними.

К объектам отнесены ЛИНИИ ПОСТРОЕНИЯ, КОНТУР, РАЗМЕР, ТЕКСТ, ДОПУСК, ШЕРОХОВАТОСТЬ, ШТРИХОВКА, ОБРЫВ, СТРЕЛКА, ЧЕРТЕЖ и РАБОЧЕЕ ПОЛЕ. Над ними предусмотрены также действия, как формирование, стирание, аффинные преобразования, размещение, гашение и восстановление, установка проекционной связи и работа с архивами чертежей. Во входной язык включены как базовые отношения — $l, \alpha, R, \varnothing, v$, так и дополнительные — $\Delta X, \Delta Y$; S — симметрия, C — циклическое повторение для уменьшения трудоемкости построения. Ввод директив производится с функциональной клавиатуры с наложенным трафаретом или планшета с аналогичным меню. Указания базовых элементов и ориентировочного положения формируемого при возможности неоднозначного построения осуществляются маркером на экране графического дисплея. Например, для изменения конструктивного размера объекта в интерактивном режиме достаточно указать маркером размерное число на чертеже и ввести его новое значение. Система производит позиционирование, поиск указанного размера, корректировку значения размерного числа и автоматическую регенерацию изображений по сформированной топологической модели.

Каждое изображение чертежа на экране размещается в рамках своего рабочего поля, по которому происходит идентификация вида и отсеивание линий; рабочее поле можно использовать и для локализации фрагмента изображения. Корректировка разметки чертежа и линий контура производится стиранием лишних и построением новых элементов. Для простановки дополнительного размера необходимо указать его опорные элементы среди линий контура. Значение размерного числа h выбирается из массива H по отношениям между соответствующими линиями из BL . Если соответствие установить не удастся, то размер оформляется как справочный. Наибольший выигрыш времени по сравнению с традиционным черчением происходит при прорисовке элементов оформления чертежа. Так, для нанесения фаски, скругления или штриховки достаточно одним маркером указать соответствующий угол или область. В заданных местах автоматически прорисовываются знаки и рамки шероховатостей и допусков формы, вычисляются по квалитетам значения предельных

отклонений размеров и т. п. Уровень ЧЕРТЕЖ позволяет производить компоновку изображений на формате. Составная рамка, образованная заданным количеством совмещенных по горизонтали листов, размещается на свободном поле экрана. Изображения автоматически упрощаются с целью облегчения чтения чертежа. На этом уровне оформляются технические требования и основная надпись. Система позволяет делать твердую копию чертежа и работать с архивами конструкций. При дальнейшем развитии системы набор выполняемых функций будет расширен возможностями использования конструктивных элементов для формирования чертежа и диалоговой компоновки составных конструкций.

Отработка основных принципов и опытная эксплуатация системы проведены на комплексе ЕС-АРМ. В настоящее время осуществляются развитие системы и адаптация на ЭВМ класса СМ-1700.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ксенофонтова Л. П., Рябов Е. К. Интерактивная система моделирования конструкции и оформления рабочего чертежа детали // Автоматизированное проектирование в машиностроении: Тез. докл. науч.-техн. конф.— Устинов: УДТ НПО, 1985.
2. Рябов Е. К. Интерактивный синтез топологической модели чертежа // Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по проблемам машинной графики.— Серпухов: ИФВЭ АН СССР, 1987.
3. Ксенофонтова Л. П., Рябов Е. К. Геометрическое моделирование проекционных связей при интерактивном формировании многовидового чертежа // Методы и средства обработки сложной графической информации: Тез. докл. III Всесоюз. конф.— Горький: ГГУ, 1988.— Ч. 2.

Поступила в редакцию 16 января 1990 г.

УДК 681.3.022

**Е. В. БИРЯЛЬЦЕВ, А. М. ГУСЕНКОВ, И. Р. НАСЫРОВ,
А. А. САВЕЛЬЕВ**
(Казань)

СИСТЕМА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРОМ

Формы представления геометрических моделей. Можно предложить три формы представления геометрических моделей в САПР:

- 1) дескриптивное — путем явного задания геометрических примитивов, составляющих модель;
- 2) процедурное — задание модели в виде программы процедурного языка, описывающей процесс ее построения;
- 3) непроцедурное — описание модели в виде набора геометрических примитивов и связывающих их отношений.

Дескриптивное представление позволяет описывать конкретный геометрический объект, все элементы которого известны. Модификация таких моделей производится пользователем в интерактивном режиме путем указания подмножества примитивов модели и операций над ними (удаление, аффинное преобразование и т. д.).

Процедурное и непроцедурное представления применяются обычно для задания параметрических моделей геометрических объектов. Однако отличие этих двух подходов заключается в том, что при процедурном представлении необходимо описать алгоритм построения модели, а при непроцедурном — описывается геометрическая модель без указания способа ее построения. Таким образом, с непроцедурным представлением, как правило, связывают некоторый автоматизированный или универсаль-