4. **Кириллов А. М.** Сюрфасография.— М.; Л.: ОНТИ, 1937.
5. **Бординат Д.** Взаимодействие художника-конструктора и инженера // Техническая эстетика.— 1970.— № 3.
6. **Сомов Ю. С.** Художественное конструирование промышленных изделий.— М.: Машиностроение, 1967.
7. **Богданович Л. Б., Бурьян В. А., Рацтман Ф. И.** Художественное конструирование в машиностроении.— Киев: Техника, 1976.
8. **Вальямс Д. А.** Построение криволинейных поверхностей.— М.: Машгиз, 1951.
9. **Строганенко В.** Методы художественного конструирования и оптимального управления формой пространственных обводов посредством ЭВМ // Техническая эстетика.— 1971.— № 10.
10. **Сильверстова С. А.** Проектирование с помощью ЭВМ // Техническая эстетика.— 1980.— № 5.
11. **Ланцкоф В.** Графические средства в различных проектировочных ситуациях // Техническая эстетика.— 1971.— № 6.
12. **Суслин В.** Автоматизация проектирования кузовов автомобилей // Техническая эстетика.— 1970.— № 12.
13. **Болмат Л. Я.** Методы макетного поиска // Техническая эстетика.— 1973.— № 1.
14. **Родионов В. Ф., Фиттерман В. М.** Проектирование легковых автомобилей.— М.: Машиностроение, 1980.

Поступила в редакцию 16 января 1990 г.

УДК 515.2 : 681.3

В. Н. ГУРАК, В. А. ПЛОСКИЙ
(Киев)

РАЗРАБОТКА ИНВАРИАНТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Одним из путей расширения функциональных возможностей инвариантного ядра подсистем геометрического моделирования (ПГМ) САПР является включение в его состав методов геометрического моделирования объектов сложной формы — методов формообразования (МФ).

Заметим, что среди используемых в ПГМ геометрических алгоритмов следует выделить методы формирования сложного геометрического объекта из содержащегося в системе набора примитивов (алгебрологические, кусочно-аналитические, теоретико-множественные и т. п.), а также методы формообразования, позволяющие по наперед заданным критериям получить геометрический объект (ГО) оптимальной формы с возможностью управления последней. МФ основаны на использовании положений алгебраической и начертательной геометрии, теории конгруэнций и комплексов, номографии, теории исчисления параметров, а также на формообразующих интерпретациях метода конечных элементов и метода конечных разностей [1]. Основу существующих ПГМ составляют методы формирования ГО, тогда как МФ используются достаточно редко [2]. Это в значительной степени объясняется большим разнообразием структур, форм представления, алгоритмов реализации различных МФ. Более того, для отдельно взятого МФ также существует множество различных интерпретаций и подходов, трудносовместимых с точки зрения использования в ПГМ. Таким образом, создание единых, удобных для машинной реализации форм представления МФ имеет очевидный практический интерес, поскольку это позволило бы включить данную группу методов в инвариантное ядро ПГМ и, следовательно, расширить его возможности.

© 1990 Гурак В. Н., Плоский В. А.

Проблема решается путем совершенствования внутренних структур МФ и их частных реализаций, что подразумевает обоснование, разработку и исследование инвариантных по отношению к особенностям и удобных для автоматизированного проектирования форм представления МФ различной природы или множества реализаций одного метода.

Установлено [3], что разработку инвариантных форм представления МФ удобно осуществлять на основе декомпозиции. Последняя в данном случае представляет собой разложение аппарата МФ на конечное число независимых структурных компонент с целью их целенаправленного подбора и объединения в аппарат с заданными свойствами при помощи арифметических операций. Выявленные в ходе исследований возможности, возникающие вследствие использования декомпозиции, сводятся к следующему.

1. Исследование и упорядочение свойств компонент различных методов позволяет по наперед заданному набору исходных условий синтезировать требуемый МФ (возможно, неизвестный ранее). Частный случай — возможность набора МФ из компонент одного метода, существующего в различных интерпретациях.

2. Если МФ в целом удовлетворяет условиям задачи и требуется лишь его корректировка, целесообразно использовать замену одной из компонент.

3. Существует возможность представления нескольких алгоритмов различных МФ в виде цепи без промежуточного преобразования информации, где каждым звеном решается определенная задача, например в реализации многоступенчатой методики проектирования или при уточнении приближенного решения.

4. Возможность перехода от одного метода к другому позволяет выделить один из МФ и алгоритм его функционирования в качестве базового для пользователя.

5. Введение различных МФ, представленных своими компонентами, в ПГМ при расширении ее возможностей применительно к задачам формообразования увеличивает вариантность генерации решения путем комбинаторного перебора компонент.

6. Упрощаются возможности теоретического исследования различных МФ через исследование их компонент в части выявления особенностей, рациональных областей использования, точности и т. п.

Подход реализован применительно к методу геометрических преобразований, широко используемому в задачах формообразования. Традиционно существует множество форм представления и алгоритмов реализации преобразований, определяемое их разделением на группы со своими инвариантами и особенностями, а также на классы по конструктивным признакам: кремоновы, многозначные, трансцендентные, с изменением ступени прообраза и др.

Исследование внутренней структуры преобразований плоскости (R^2) и пространства (R^3) показывает, что удобно использование их интерпретации в смысле Римана, т. е. как отображения кривой-прообраза f на ее образ $\mathbf{f}$, T: $f \to \mathbf{f}$ (R^2) или поверхности-прообраза Φ на образ $\mathbf{\Phi}$, T: $\Phi \to \mathbf{\Phi}$ (R^3). Декомпозиция оператора преобразования T заключается в его разложении на две компоненты, определяющие направление и «интенсивность» преобразования: соответственно $\mathbf{e}$-компонента — поле единичных векторов, управляемое через параметры $\|p_i\|$ (каждый вектор однозначно соотнесен с точками R^2 или R^3; Δ-компонента — функция, фиксирующая позиционные условия, учитывающая характер нагрузки на прообраз и другие условия и управляемая через параметры $\|q_i\|$. Компонента $\mathbf{e}$ задается функциями направляющих косинусов e_j, $j = 1, 2$; $j = 1, 2, 3$ (R^2, R^3); компонента Δ (при необходимости) может также конструироваться по координатным составляющим $\Delta_j : j = 1, 2$ ($j = 1, 2, 3$).

Очевидно, что представление оператора преобразования (R^3) в виде

$$T : \mathrm{x}_j = x_j + \Delta_j(x_1, x_2, x_3, \|p_i\|) \cdot e_j(x_1, x_2, x_3, \|q_i\|), \quad j = 1, 2, 3; \quad i = \overline{1, n},$$

является внегрупповым, при решении специальной задачи оператор T формируется из компонент преобразований различных групп и классов с целью генерации рациональной и корректной геометрической модели объекта (процесса).

В работе [3] доказана принципиальная возможность расслоения преобразования любой группы или класса на компоненты; показано существование общих компонент в традиционно несовместимых группах (классах) преобразований, проанализированы особенности распределения свойств исходного оператора по компонентам. Поскольку главная цель заключается в разработке способов целенаправленного покомпонентного синтеза МФ, предложен конструктивный способ задания компонент **e** и Δ. Векторы компоненты **e** определяются по отношению к точкам линейчатых множеств — пучка n-го порядка линий в R^2 или конгруэнции n-го порядка m-го класса $\mathrm{Kr}(n, m)$ в R^3, параметризованных соответствующим образом. В частности, если порядок пучка или конгруэнции равен единице, в каждой точке R^2 или R^3 выделяется единственный вектор и генерируется **e**-компонента однозначного преобразования. Векторы **e** закрепляются в точках линейчатых множеств (носителей) по отношению к реперам вида (**t**, **n**) или (**t**, **n**, **b**). Компонента Δ конструируется в виде композиции функций, закрепляющих линии контура, учитывающих неравномерность распределения нагрузки и т. д. Преобразование вполне определено после погружения в пространство прообраза. При этом из исходных множеств ($n\infty^2$, $n\infty^3$) направленных отрезков выделяются подмножества ($n\infty^1, n\infty^2$), обеспечивающие получение преобразования заданной структуры и свойств в пространстве соответствующей размерности.

Аналитическая интерпретация приведенной выше синтетической модели является весьма несложной и позволяет на единой методической основе синтезировать специальные преобразования в различных технических приложениях. Из примеров прикладных разработок отметим: решение задачи формообразования сложной технической поверхности [4]; разработку специализированного программного комплекса вариантного геометрического моделирования сборных модульных архитектурных оболочек [5]; разработку методики покомпонентной замены сложного преобразования более простым в заданной области пространства, что обеспечивает возможность решения задач равноточной автоматической триангуляции, перезадания и паркетирования поверхностей [6]. На основе сочетания декомпозиции преобразований с дискретизацией разработан способ конструирования цепи мгновенных преобразований, последовательно отображающих друг на друга однопараметрическое множество состояний объекта. При введении в компоненты (**e**, Δ) физических факторов способ позволяет оперативно получать решения краевых задач в приграничных областях, исследовать сложные физические поля с учетом экранирования [7], решать задачи строительной теплофизики.

Реализация декомпозиции МФ в виде объектно-ориентированного модуля формообразования ПГМ, предназначенного для эскизного проектирования архитектурных объектов, выполнена в [5]. На основе классификации геометрических структур объектов рассматриваемого класса произведен отбор компонент, обеспечивающих при формообразовании учет комплекса наперед заданных свойств в любых сочетаниях. В кодах компонент зафиксированы характер и количество опорных элементов, условия гладкости поверхности, выпуклости и т. п. В систему введены (также представленные покомпонентно) преобразования группы движений, позволяющие формировать многомодульную поверхность из конгруэнтных отсеков. В первой версии библиотека системы содержит 15 Δ- и 12 **e**-компонент; таким образом, верхний предел вариантности решения — 180 типов объектов. (Очевидно, в общем случае представление $2n$ компонент n исходных операторов преобразований обеспечивает вариантность n^2.) Реализованы возможности управления формой в диалоговом режиме и размножения многомодульной системы посредством движения и симметрии.

Настоящий этап исследований заключается в расширении библиотеки компонент преобразований, устранении объектной ориентированности системы кодирования компонент с целью создания инвариантного модуля формообразования в составе ПГМ. Для выхода на конкретную предметную область разрабатывается сервисный программный модуль согласования ее терминологии и геометрических инвариантов компонент. Подсистема формообразования предназначена для включения в ПГМ САПР, разрабатываемой в Институте кибернетики АН УССР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Михайленко В. Е., Ковалев С. Н., Сазонов К. А.** Формообразование большепролетных покрытий в архитектуре.— Киев.: Вища шк., 1987.
2. **Гривачевский А. Г., Сорокин М. Н.** Геометрические модели деталей в задачах их модификации // ЭВМ в проектировании и производстве.— Л.: Машиностроение, 1987.— Вып. 3.
3. **Плоский В. А.** Формообразование оболочек на основе реализации инвариантной конструктивной модели геометрических преобразований: Автореф. дис. ... канд. техн. наук/КИСИ.— Киев, 1986.
4. **Плоский В. А., Гурак В. Н.** Методика формообразования арочной плотины с применением интерактивных средств машинной графики // Прикл. геометрия и инж. графика.— 1987.— Вып. 43.
5. **Шишкин М. И.** Геометрическое моделирование сборных модульных оболочек для их автоматизированного проектирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук./ КИСИ.— Киев, 1988.
6. **Подгорный А. Л., Плоский В. А.** Аппроксимация преобразований // Прикл. геометрия и инж. графика.— 1989.— Вып. 48.
7. **Плоский В. А., Кусебаев У. К.** Методы геометрического моделирования в задачах автоматизированного проектирования ВЛЭП на рельефе местности // Тез. докл. науч.-практ. конф. «Молодые ученые — развитию научно-технического прогресса».— Караганда: КарПИ, 1987.

Поступила в редакцию 16 января 1990 г.

УДК 658.512.012.011.561.681.3

А. М. ВИННИЦКИЙ, О. В. КИСЕЛЕВА, Я. А. СИРОТКИН, В. А. ТРЕЯЛЬ

(Ленинград)

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГРАФИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ И ПЛОСКОСТНЫХ

В состав интегрированной гибкой производственной системы (ГПС) механообработки деталей (МД), разрабатываемой в Инженерном центре ГПС при ЛПИ им. М. И. Калинина, входят САПР деталей (САПР-Д), автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП), АСУ ГПС и другие системы [1].

САПР-Д обеспечивает конструкторское проектирование оригинальных деталей синтезом их из объемных примитивов (ОП — цилиндр, конус, параллелепипед, шар, тор, пирамида и др.) с расположенными на них элементами обогащения (ЭО — отверстие, окно, канавка, паз, выступ, бурт, карман и т. п.), а также проектирование на базе типовых и комплексных деталей типа тел вращения и плоскостных.

При проектировании оригинальной детали конструктор на входном языке объемного геометрического моделирования (ЯОГМ) описывает информационную модель детали (ИМД), фиксирующую только форму де-

© 1990 Винницкий А. М., Киселева О. В., Сироткин Я. А., Треяль В. А.