

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Совет молодых ученых

Научно-методический отдел по работе с молодыми учеными
и специалистами университета управления
научных исследований СПбГУ

ЧЕЛОВЕК. ПРИРОДА. ОБЩЕСТВО АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Материалы

*14-й международной конференции
молодых ученых 26–30 декабря 2005 г.*

В 2 частях

Часть II



Издательство Санкт-Петербургского университета
2006

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ С В-СПЛАЙН КРИВЫМИ И ПОВЕРХНОСТЯМИ

Задача данной работы состоит в том, что бы разработать и реализовать алгоритмы работы с В-сплайн кривыми, которые могут дать возможности для использования В-сплайн кривых в САПР (Практическая часть работы проведена в рамках разработки САПР TurboCAD). К интересующим возможностям относятся:

- создание замкнутых и не замкнутых В-сплайн кривых от 1 до 9 степени;
- рисование В-сплайн кривых на графический контекст (вывод на экран, печать на принтер) в режиме реального времени с сохранением высокого качества изображения при различных масштабах;
- редактирование контрольных точек В-сплайн кривых, повышение степени и количества контрольных точек без изменения геометрии, понижение степени и количества контрольных точек без изменения геометрии в случае, если это возможно;
- обсчет и выдача другим модулям TurboCAD информации о пересечениях В-сплайн кривых с другими объектами, нахождение ближайшей точки на кривой к заданной точке (данная возможность широко используется в режимах притягивания курсора мыши «к пересечению объектов», «к ближайшему объекту»);
- поддержка объектом операций по разделению или выделению его на части того же типа (например, оставить от объекта только часть лежащую внутри заданной окружности);
- импорт и экспорт В-сплайн кривых в представления, поддерживаемые библиотекой ACIS, сохранение объектов этого типа в файлы других (то есть не «родных» для TurboCAD) форматов, таких как IGES — стандарт обмена проектной информацией между системами автоматизированного производства, DXF/DWG — «родной» формат распространенного пакета AUTOCAD;
- поддержка В-сплайн кривых созданных в других программах с другими узловыми векторами.

В рамках работы реализованы как стандартные и общеизвестные алгоритмы (например, удаления узла (или его добавления) из узлового вектора и понижения (или понижение) степени В-сплайн), так и разработанные с учетом особенностей реализации конкретного САПР приложения.

Для оптимизации быстродействия TurboCAD для каждого объекта различают основные данные и косметические. Косметическими считаются данные, которые могут быть восстановлены по основным. Так для В-сплайн кривой основными данными будут контрольные точки, ее степень и узловой вектор. Косметическими данными будут, например, положение и размеры минимального прямоугольника со сторонами параллельными осям координат содержащего кривую. Для В-сплайн кривых наиболее важными косметическими данными будут являться посчитанные для каждого узлового отрезка полиномиальная функции для каждой из четырех однородных координат, приведенные к отрезку $[0,1]$. При этом в соответствии с идеологией «регенерации» преобразования, не меняющие структуру объекта, не вызывают его перестроения, но могут менять его визуальную форму. К таким преобразованиям относятся:

- преобразование (заданное матрицей 4×4) пространства, в котором лежит объект;
- изменение размеров и положения экранного окна (строго говоря, не меняет сам объект, но меняет его визуальное представление в данный момент времени);
- масштабирование объекта.

Для ускорения работы программы такие преобразования применяются не к исходным данным (в нашем случае к контрольным точкам), а к временным косметическим данным.

Количество операций необходимых для применения вышеописанного преобразования к одному узловому отрезку пропорционально степени полиномов, т.е. степени В-сплайна, и не зависит от общего количества точек в В-сплайне.

Если применять преобразование к контрольным точкам, а затем пересчитывать В-сплайн в рационально-полиномиальной форму, то на этот процесс потребуется количество операции пропорциональное кубу степени В-сплайна.

На практике достигается примерно десятикратное ускорение процесса преобразования кривой при использовании данного подхода для с В-сплайнов третьей степени. Именно использование такого

подхода позволило поставить вопрос о высококачественном рисовании кривых.

Рисование В-сплайн кривой производится таким образом, что бы для человеческого глаза кривая оставалась гладкой для любого уровня увеличения. До версии TurboCAD 9 включительно В-сплайн кривые рисовались как ломаная линия с числом звеньев не зависящим от длины кривой и текущего уровня увеличения. Что приводило, в большинстве случаев, к нарушению гладкости изображения кривых.

Требования к задачам рисования на экране или другом графическом устройстве были сформулированы следующим образом:

- видимое изображение отличается от истинного не более, чем на 0.5 пикселя;

- вне видимого окна качество изображения кривой может быть любым, но оно должно повторять форму кривой, что необходимо для алгоритмов штриховки замкнутых областей;

- скорость рисования должна быть достаточной для возможности изображения кривой в режиме реального времени.

Данная задача была успешно решена. Кривая изображается последовательностью ее хорд, каждая из которых отстоит от кривой не более чем на заданное расстояние (определяемое исходя из размера пикселя текущего графического устройства). Заметим, что при таком подходе необходимое число хорд обратно пропорционально корню из возможной погрешности, когда при наложении ограничений на длину хорды, число хорд обратно пропорционально самой погрешности.

При работе с В-сплайн кривыми задачи, сводящиеся к нахождению ближайшей точки на кривой к заданной встречается очень часто. Формулироваться они могут различными способами. Например:

- найти расстояние от заданной точки до В-сплайн кривой (пользователь выделяет на экране объект для редактирования);

- найти ближайшую точку на кривой к заданной (в задаче притяжения точки нажатия курсором мыши на экране к ближайшему объекту);

- найти параметрическое значение, отвечающее ближайшей точке на кривой к заданной (все операции связанные с дальнейшей модификацией В-сплайна, например, вставка узла, равного этому значению, в узловую вектор).

Для нахождения ближайшей точки на кривой к заданной минимизируется квадрат расстояния между точкой на кривой и заданной точкой P (минимизируется штрафная функция).

Для минимизации штрафной функции используется метод итераций Ньютона-Рафсона.

Условиями окончания процесса минимизации служит условие малости изменения параметра, (т. е. 2 итерации достаточно близки друг к другу), и условие малости изменения штрафной функции. Также в целях оптимизации временных затрат процесс останавливается при достижении штрафной функцией нуля с необходимой точностью, или при превышении числа разрешенных итераций. Остановка процесса в последнем случае означает отсутствие сходимости процесса при старте из данной точки, и процесс запускается заново при другом начальном приближении. Здесь надо отметить квадратичную скорость сходимости метода, что означает необходимость небольшого количества итераций требуемых для остановки процесса.

Достижение же нуля означает нахождение заданной точки прямо на графике.

Также заметим, что весь процесс минимизации штрафной функции ведется на интервале $[0,1]$, так как именно на нем построены косметические данные о кривой в полиномиальной форме.

С помощью аналогичного (хотя и более сложного) подхода успешно решена задача нахождения пересечений В-сплайн кривых друг с другом и с другими объектами.

Настоящая работа была посвящена разработке фактически нового объекта внутри системы автоматизированного проектирования TurboCAD.

Данная работа позволила значительно повысить совместимость TurboCAD с другими программами при обмене информацией, улучшить взаимодействия с используемой библиотекой ACIS. Существенно возросли возможности пользователей по созданию, редактированию и использованию В-сплайнов в своей работе.

Отметим, что все поставленные задачи были успешно решены, и модель, обеспечивающая работу объекта В-сплайн, успешно выполняет свое предназначение. Возможности полученного объекта не уступают, а с точки зрения редактирования и визуализации в некоторых аспектах даже превосходят аналогичные продукты.

Несмотря на свою важность в эксплуатации не рассмотрены во-

просы пользовательского интерфейса, так как процесс его разработки не представляет для автора большого интереса. Но стоит отметить, что сделанные наработки позволили упростить его, что является несомненным достоинством.

Результаты работы частично вошли в профессиональные коммерческие версии программы TurboCAD 10 и 11, полностью войдут в разрабатываемую в данный момент версию TurboCAD 12.