

20. Рудницька, Г. В. Аналіз розподілення температури у теплоізоляційній завесі [Текст] / Г. В. Рудницька // Механізація с. г. виробництва: Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. — Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2013. — Вип. 135. — С. 57–63.

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ГЕНЕРАТИВНИХ ОРГАНІВ ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕНЬ ВІД ВЕСНЯНИХ ЗАМОРОЗКІВ

Проведено аналіз відомих способів та засобів механізації для захисту плодкових насаджень від весняних заморозків. Запропонована класифікація способів і засобів механізації захисту від заморозків, що дає можливість вибрати перспективний напрямок розвитку галузі механізації для підвищення ефективності процесу захисту генеративних органів плодкових дерев від весняних заморозків.

Ключові слова: плодкові насадження, генеративні органи, урожайність, заморозки, захист, механізація.

Рудницькая Анна Викторовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра оптимизации технологических систем им. Т. П. Евсюкова, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Украина, e-mail: semaskacat@mail.ru.

Рудницька Ганна Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра оптимізації технологічних систем ім. Т. П. Євсюкова, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Україна.

Rudnytska Ganna, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ukraine, e-mail: semaskacat@mail.ru

УДК 514.18

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44416

Ковтун А. М.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПОСТРОЕНИЯ КУБИЧЕСКОГО ВЕКТОРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО БИСПЛАЙНА С УПРАВЛЯЮЩИМИ ТОЧКАМИ, ИНЦИДЕНТНЫМИ ПОВЕРХНОСТИ

Исследован способ построения бисплайна (векторно-параметрической поверхности) с управляющими точками, инцидентными поверхностями. При этом была достигнута гладкость второго порядка. Разработан алгоритм получения бикубической поверхности с первым, а потом и вторым порядком гладкости. Приведены тестовые примеры полученных бисплайнов.

Ключевые слова: векторно-параметрический сплайн, бисплайн, сплайн с управляющими точками, инцидентными кривой, гладкость.

1. Введение

Поверхности, как и линии, являются математически абстракциями, дающими представление об отдельных свойствах предметов. На основании результатов, полученных в [1–3], можно строить соответствующие бисплайны, то есть векторно-параметрические поверхности на базе сплайнов третьей, четвертой и пятой степеней с соблюдением гладкости от первого до четвертого порядков.

Актуальность работы обусловлена высоким интересом разработчиков САПР, составителей всевозможных моделей к алгоритмам интерполяции более корректно, адекватно отвечающим поставленной задаче. Многие существующие алгоритмы имеют недостаток, который при определенном типе первоначально заданных данных может быть существенным — управляющие точки не лежат на первоначально заданном каркасе, что неудобно для конструктора.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Ряд источников [1–9] предлагает различные способы описания сплайновых поверхностей. Например, по-

верхности Эрмита, поверхности Лагранжа, поверхности перехода, поверхности Гордона и другие. Проведенные исследования сплайнов высших степеней [5–12] показали возможность получения бисплайна с управляющими точками, инцидентными поверхностями, с достижением гладкости вплоть до четвертого порядка. Решение необходимых систем линейных уравнений во многих случаях является устойчивым и однозначным.

3. Объект цель и задачи исследования

Объект исследования — задача моделирования гладких сплайновых поверхностей с управляющими точками, принадлежащими (инцидентными) поверхностями.

Проведенные исследования имели *цель* развития уже существующих способов описания сплайновых поверхностей ввиду их важности в конструировании и производстве. Очевидными примерами их применения являются разработка и производство автомобильных кузовов, корабельных корпусов, авиационных фюзеляжей и крыльев, пропеллеров и т. д. Ясно, что при автоматическом конструировании подобного вида объектов возрастают требования к удобству и «адекватности» применяемого математического аппарата. Предлагаемый способ дает конструктору возможность более корректно

моделировать криволинейный обвод (с соблюдением соответствующего порядка гладкости), т. к. управляющие точки кривой инцидентны (принадлежат) поверхности. Для достижения поставленной цели исследованы свойства векторно-параметрического сплайна на основе кубического сплайна и предложен способ получения бисплайна с управляющими точками, инцидентными поверхности.

4. Материалы и методы исследования

Векторно-параметрические кривые задаются в виде $r = r(u)$, что означает: по каждой координате существуют отдельные кривые, а именно: $x = x(u)$, $y = y(u)$, $z = z(u)$.

При задании точечного ряда в каждой точке назначаются произвольным образом конкретные значения параметра u . Наиболее простым способом является назначение значений u , которые равняются порядковому номеру точки, то есть $u_i = i$, $i = 0, 1, \dots, N$. При этом уравнения сплайнов значительно упрощаются, т. к. точки по параметру u размещаются равномерно (это не означает, что они равномерно размещаются в пространстве) и, кроме того, дистанция между точками по параметру u равняется единице, то есть $u_{i+1} - u_i = (i + 1) - i = 1$. Но более адекватным является назначение параметра u , который равняется реальной дистанции в пространстве, то есть:

$$u_{i+1} - u_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}.$$

В этом случае необходимо решать системы уравнений для сплайнов с учетом неравномерности расположения точек.

5. Результаты исследования способа построения кубического векторно-параметрического бисплайна с управляющими точками, инцидентными поверхности

Способ получения бисплайна следующий: возьмем векторно-параметрический сплайн в виде $r = r(u)$ и будем его «протягивать» в трехмерном пространстве в направлении, не совпадающем с направлением u , то есть в другом направлении v .

Пусть имеем векторно-параметрический сплайн, который можно в общем случае записать как:

$$r = r[u, r_1, r_2, \dots, r_N], \tag{1}$$

где r_i – векторные константы.

Если протягивать (1) в другом направлении v , то векторные константы будут зависеть от этого параметра v . Тогда (1) будет иметь вид:

$$r = r[u, r_1(v), r_2(v), \dots, r_N(v)] = r(u, v). \tag{2}$$

На основе кубического сплайна [3]:

$$y = y_0 \frac{(u - u_1)(u - u_2)(u - u_3)}{(u_0 - u_1)(u_0 - u_2)(u_0 - u_3)} + y_1 \frac{(u - u_0)(u - u_2)(u - u_3)}{(u_1 - u_0)(u_1 - u_2)(u_1 - u_3)} + y_2 \frac{(u - u_0)(u - u_1)(u - u_3)}{(u_2 - u_0)(u_2 - u_1)(u_2 - u_3)} + y_3 \frac{(u - u_0)(u - u_1)(u - u_2)}{(u_3 - u_0)(u_3 - u_1)(u_3 - u_2)}, \tag{3}$$

можно построить следующую порцию поверхности:

$$r = \alpha_0(u)r_0 + \alpha_1(u)r_1 + \alpha_2(u)r_2 + \alpha_3(u)r_3, \tag{4}$$

где:

$$r_0 = \alpha_0(v)r_{00} + \alpha_1(v)r_{01} + \alpha_2(v)r_{02} + \alpha_3(v)r_{03},$$

$$r_1 = \alpha_0(v)r_{10} + \alpha_1(v)r_{11} + \alpha_2(v)r_{12} + \alpha_3(v)r_{13},$$

$$r_2 = \alpha_0(v)r_{20} + \alpha_1(v)r_{21} + \alpha_2(v)r_{22} + \alpha_3(v)r_{23},$$

$$r_3 = \alpha_0(v)r_{30} + \alpha_1(v)r_{31} + \alpha_2(v)r_{32} + \alpha_3(v)r_{33}.$$

Уравнение (4) подадим в матричной записи:

$$r = [\alpha_0(u), \alpha_1(u), \alpha_2(u), \alpha_3(u)] \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & r_{03} \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{30} & r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0(v) \\ \alpha_1(v) \\ \alpha_2(v) \\ \alpha_3(v) \end{bmatrix}, \tag{5}$$

где $\alpha_i(v) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^3 \frac{(u - u_j)}{(u_i - u_j)}$, $0 \leq u, v \leq 1$.

Для того чтобы получить бисплайн с полным порядком гладкости, необходимо множество порций (5) склеивать таким образом, чтобы сохранялась соответствующая гладкость вдоль границы порции поверхности в поперечном направлении.

Пусть имеем две порции: $(i - 1)$ -я порция и i -я порция. Направление « i » совпадает с направлением параметра u . Для сохранения первого порядка гладкости по u вдоль границы по параметру v необходимо придерживаться требования:

$$r_{u(u-1)}^{(i-1)}(u, v) = r_{u(u=0)}^{(i)}(u, v). \tag{6}$$

Соответствующая производная (5) будет равняться:

$$r'_u = [\alpha'_0(u)\alpha_1(u)\alpha_2(u)\alpha_3(u)] \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & r_{03} \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{30} & r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0(v) \\ \alpha_1(v) \\ \alpha_2(v) \\ \alpha_3(v) \end{bmatrix}. \tag{7}$$

Отсюда видно, что для обеспечения определенной гладкости нужно сохранить соответствующую гладкость склеивания по u траекторий всех четырех точек $r(u, 0)$, $r(u, 1)$, $r(u, 2)$, $r(u, 3)$.

Аналогично и в другом направлении, то есть для того, чтобы сохранить гладкость склеивания по v , необходимо сохранить склеивание по v траекторий точек $r(0, v)$, $r(1, v)$, $r(2, v)$, $r(3, v)$.

Таким образом, применив формулы (8) для определения кривой с первым порядком гладкости на основе [3], получим:

$$4,5r_1^{(i-1)} - 9r_2^{(i-1)} - 9r_1^{(i)} + 4,5r_2^{(i)} = r^{(i-1)} - 10r^{(i)} + r^{(i+1)},$$

$$i = 1, 2, \dots, N-1, \quad r^{(i)} = r_0^{(i)}. \quad (8)$$

Имеем бикубическую поверхность первого порядка гладкости. Для чего необходимо обеспечить первый порядок гладкости траекторий четырех управляющих точек в обоих направлениях u , v :

$$r'_{u(u=1)}{}^{(i-1)}(u, v) = r'_{u(u=0)}{}^{(i)}(u, v), \quad r'_{v(v=1)}{}^{(j-1)}(u, v) = r'_{v(v=0)}{}^{(j)}(u, v). \quad (9)$$

Для получения гладкости второго порядка нужно аналогично конструировать бисплайн со вторым порядком гладкости в обоих u - v -направлениях (на основании формул (8) и (10)):

$$72r_1^{(i-1)} - 117r_2^{(i-1)} - 27r_1^{(i)} = 17r^{(i-1)} - 88r^{(i)} - r^{(i+1)},$$

$$-27r_2^{(i-1)} - 117r_1^{(i)} + 72r_2^{(i)} = -r^{(i-1)} - 88r^{(i)} + 17r^{(i+1)}, \quad (10)$$

где $r^{(i)} = r_0^{(i)}$, то есть обеспечить вместе с (9) справедливость следующих тождеств:

$$r'_{u(u=1)}{}^{(i-1)}(u, v) = r'_{u(u=0)}{}^{(i)}(u, v), \quad r'_{v(v=1)}{}^{(j-1)}(u, v) = r'_{v(v=0)}{}^{(j)}(u, v),$$

$$r''_{uu(u=1)}{}^{(i-1)}(u, v) = r''_{uu(u=0)}{}^{(i)}(u, v), \quad r''_{vv(v=1)}{}^{(j-1)}(u, v) = r''_{vv(v=0)}{}^{(j)}(u, v). \quad (11)$$

Но, чтобы достичь полной гладкости второго порядка (т. е. обеспечить непрерывность второй квадратичной формы по всей поверхности), необходимо еще обеспечить по линии склеивания и равные смешанные производные, то есть:

$$r''_{uv(u=1)}{}^{(i-1)}(u, v) = r''_{uv(u=0)}{}^{(i)}(u, v), \quad r''_{uv(v=1)}{}^{(j-1)}(u, v) = r''_{uv(v=0)}{}^{(j)}(u, v). \quad (12)$$

Тестовые примеры бикубических сплайнов с управляющими точками, инцидентными поверхности, со вторым порядком гладкости, приведены на рис. 1.

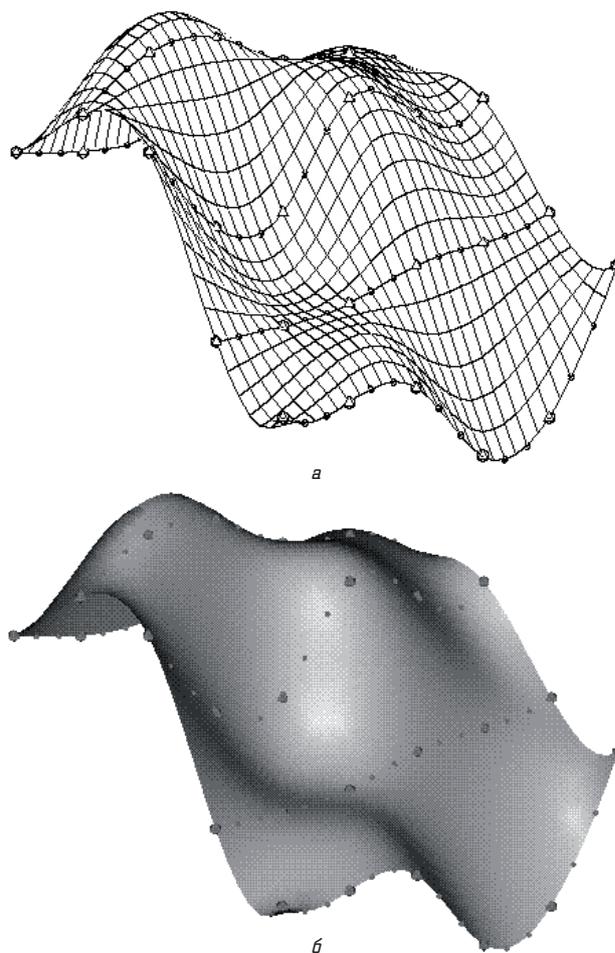


Рис. 1. Бисплайн с управляющими точками, инцидентными поверхности, со вторым порядком гладкости: *а* — показаны порции поверхности; *б* — применена прорисовка сетки поверхности с помощью команды ZDMESH

6. Обсуждение результатов исследования построения векторно-параметрического бисплайна с управляющими точками, инцидентными поверхности

К достоинствам работы можно отнести исследование нового способа математического описания параметрических поверхностей, используемых в машинной графике и автоматизированном проектировании при построении гладких поверхностей с управляющими точками, инцидентными поверхности.

К недостаткам можно отнести малое количество завершенных готовых моделей, выполненных с применением метода. Что объясняется его новизной.

Польза исследования заключается в разработке нового, более удобного метода, дающего разработчику большую свободу и удобство при его работе, что было описано выше.

Работа является логическим продолжением исследований в данной области, автор собирается развить данный способ ввиду важности поднятой проблемы.

7. Выводы

1. Разработанные специальные сплайны полиномов третьей степени дают возможность получать векторно-параметрические сплайны.

2. Исследованы свойства векторно-параметрических сплайнов, они адекватны свойствам соответствующих полиномиальных сплайнов.

3. Показана возможность образовывать соответствующие порции поверхностей из векторно-параметрических сегментов третьей степени.

4. Исследованные векторно-параметрические порции поверхностей дают возможность получать векторно-параметрическую поверхность с заданной гладкостью.

5. В работе рассмотрены условия достижения полного второго (обеспечивается непрерывность второй квадратичной формы поверхности), порядка гладкости поверхностей с помощью сплайнов третьей степени, то есть достижение также непрерывности смешанных производных.

Литература

1. Фокс, А. Вычислительная геометрия [Текст]: пер. с англ. / А. Фокс, М. Пратт. — Москва: Мир, 1982. — 304 с.
2. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн-функций [Текст] / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. — Москва: Наука, 1982. — 352 с.
3. Ковтун, О. М. Поліноміальна крива третього степеня із управляючими точками, що належать кривій [Текст]: зб. наук. праць / О. М. Ковтун // Сучасні проблеми моделювання. — Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. — Вип. 4. — С. 63–67.
4. Голованов, Н. Н. Геометрическое моделирование [Текст] / Н. Н. Голованов. — М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. — 472 с.
5. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики [Текст]: пер. с англ. / Д. Роджерс, Дж. Адамс. — М.: Мир, 2001. — 604 с.
6. Якунин, В. И. Геометрические основы автоматизированного проектирования технических поверхностей [Текст] / В. И. Якунин. — М.: Маи, 1980. — 86 с.
7. Watt, A. 3D Computer Graphics [Text] / Alan Watt. — Ed. 3. — Addison-Wesley, 2000. — 570 p.
8. Chen, L. A Comparison of Improvements for Shear Warp Algorithm Using Lagrange or Cubic Spline Interpolation [Text] / L. Chen, S. Hu // 2011 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. — IEEE, 2011. — P. 1–4. doi:10.1109/icbbe.2011.5780354
9. Herman, G. T. Shape-based Interpolation Using Modified Cubic Splines [Text] / G. T. Herman, C. A. Bucholtz, Jingsheng Zheng // Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Volume 13: 1991. — IEEE, 1991. — P. 291–292. doi:10.1109/iembs.1991.683941
10. Бадаев, Ю. И. Специальные сплайны из полиномов третьей, четвертой и пятой степеней в геометрическом моделировании [Текст]: монография / Ю. И. Бадаев, А. М. Ковтун. — О.: Феникс, 2011. — 315 с.
11. Бадаев, Ю. И. Апроксимация сплайнами на основе кривых с инцидентными точками [Текст]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції / Ю. И. Бадаев, О. М. Ковтун // Сучасні проблеми геометричного моделювання (специальний випуск). — Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2003. — С. 75–77.
12. Бадаев, Ю. И. Векторно-параметричні сегменти, поверхні та тіла за інцидентними з ними точками [Текст] / Ю. И. Бадаев, О. М. Ковтун // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. — Мелітополь: ТДАТА, 2003. — Вип. 4, Т. 18. — С. 37–40.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ПОБУДОВИ КУБІЧНОГО ВЕКТОРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО БІСПЛАЙНА З КЕРУЮЧИМИ ТОЧКАМИ, ЩО ІНЦИДЕНТНІ ПОВЕРХНІ

Досліджено спосіб побудови бісплайна (векторно-параметричної поверхні) за допомогою кубічного сплайна з керуючими точками, що інцидентні поверхні. При чому було досягнуто гладкість другого порядку. Розроблено алгоритми для отримання бікубічної поверхні з першим, а потім і другим порядком гладкості. Наведено тестові приклади отриманих бісплайнів.

Ключові слова: векторно-параметричний сплайн, бісплайн, сплайн з керуючими точками, що інцидентні кривій, гладкість.

Ковтун Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра общинженерных дисциплин, Измаильский факультет Одесской национальной морской академии, Измаил, Украина, e-mail: ikra55@list.ru.

Ковтун Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра загальноінженерних дисциплін, Ізмаїльський факультет Одеської національної морської академії, Ізмаїл, Україна.

Kovtun Alexander, Izmail Faculty of Odessa National Maritime Academy, Izmail, Ukraine, e-mail: ikra55@list.ru

УДК 621.326

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44413

**Романов Б. С.,
Кагляк О. Д.,
Лутай А. М.,
Головко Л. Ф.**

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТОВИХ ТЕРМІЧНО ЗМІЦНЕНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

У даній статті представлений аналіз сучасних технологій формоутворення листових деталей з алюмінієвих термічно зміцнених сплавів. Визначені технологічні переваги і недоліки методів формоутворення деталей з листових термічно зміцнених алюмінієвих сплавів. Розглянуто особливості запропонованого авторами способу лазерного формоутворення деталей з листових алюмінієвих сплавів. Визначено задачі дослідження для подальшої реалізації в авіаційній промисловості.

Ключові слова: лазерне формоутворення, листові матеріали, згинання, алюмінієві сплави, дробоударне формоутворення.

1. Вступ

Одним з найважливіших завдань машинобудування є розробка і впровадження нових та вдосконалення існуючих технологічних процесів виготовлення деталей з метою підвищення якості виробів, продуктивності праці і зниження енерговитрат. На даний момент часу існує багато різних способів формоутворення просторових

нующих технологічних процесів виготовлення деталей з метою підвищення якості виробів, продуктивності праці і зниження енерговитрат. На даний момент часу існує багато різних способів формоутворення просторових