

УДК 621.9.06-529

Ю. В. Петраков, І. М. Тур

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Апроксимація траєкторій холостих рухів за допомогою сплайнів для верстатів та роботів з ЧПК

Вступ. При виконанні різних технологічних операцій рухи робочих органів верстатів чи роботів можна поділити на робочі і холості. Отже, траєкторії які з'єднують робочі рухи звуться холостими. Форма траєкторій робочих ходів залежить від технологічних вимог до оброблюваної деталі, а форма траєкторій холостих ходів зазвичай задається у вигляді прямої або дуги кола [1].

Технологічні процеси оброблення складних поверхонь деталей зазвичай передбачають багатопрохідну обробку тому з'являється необхідність проектувати холості рухи. За ними відбувається перехід від одного робочого руху до іншого і вони повинні забезпечувати достатній рівень плавності [2]. Підчас оброблення складних поверхонь збільшується частка холостих рухів тому нахил робиться на логістику і стратегію виконання операцій [3]. Обирається оптимальна послідовність оброблення, допоміжний час тощо [4]. Але зовсім не контролюється плавність траєкторії холостого ходу і її зшивання з траєкторією робочого ходу.

Мета роботи. Сформулювати алгоритм за допомогою якого можна спроектувати холості рухи, траєкторії яких можуть бути представлені сплайнами, такими як Ермітові кубічні сплайни та сплайни п'ятого порядку.

Вирішення задачі.

На базі Ермітових кривих можна забезпечити побудову сплайнів з достатньою плавністю [8]. Алгоритм має забезпечувати зшивання кількох точок. Такому критерію підходить Ермітовий кубічний сплайн.

Через точки крізь які проходить траєкторія руху холостого ходу можна провести кубічний сплайн який описує деяку функцію $f_i=f(x_i)$ і який визначається чотирма коефіцієнтами на кожному відрізку [9].

Алгоритм для розрахунку сплайну передбачає визначення похідних від таблично заданої функції для створення масиву дискретної геометричної моделі

кривої. Був застосований один з відомих методів диференціювання, який базується на інтерполяційному багаточлені Лагранжа, побудованого за трьома точками [9]:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2x - x_1 - x_2}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)} y_0 + \frac{2x - x_0 - x_2}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)} y_1 + \frac{2x - x_0 - x_1}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)} y_2 \quad (1)$$

При $x=x_0$ в рівнянні (3) отримуємо похідну за правими різницями, при $x=x_1$ – за центральними різницями, а при $x=x_2$ – за лівими різницями.

Подальші розрахунки можуть виконуватися двома способами в залежності від обраних кінцевих умов.

Кінцеві умови 1. Розрахунок сплайну:

$$S_3(x) = y_i + (x - x_i) [\dot{y}_i + t(B + tA)],$$

$$A = -2U + \dot{y}_i + \dot{y}_{i+1}; \quad t = (x - x_i)/(x_{i+1} - x_i); \quad B = -A + U - \dot{y}_i; \quad (2)$$

де U – поділена різниця першого порядку.

Кінцеві умови 2. Розрахунок сплайну:

$$S_3(x) = y_i \varphi_1 + y_{i+1} \varphi_2 + (x_{i+1} - x_i)(m_i \varphi_3 + m_{i+1} \varphi_4), \quad (3)$$

де величини, невідомі величини розраховуються за формулами:

$$m_i = \dot{y}_i - V \cdot \ddot{y}_i / 3 - V \cdot \ddot{y}_{i+1} / 6; \quad m_{i+1} = \dot{y}_i + V \cdot \ddot{y}_i / 6 + V \cdot \ddot{y}_{i+1} / 3; \quad (4)$$

де $V=x_{i+1}-x_i$, а функції $\varphi_1 - \varphi_4$ визначають за формулами:

$$\varphi_1 = (1 - U^2) \cdot (1 + 2U); \quad \varphi_2 = U^2(3 - 2U); \quad \varphi_3 = U(1 - U)^2; \quad \varphi_4 = -U^2(1 - U); \quad (5)$$

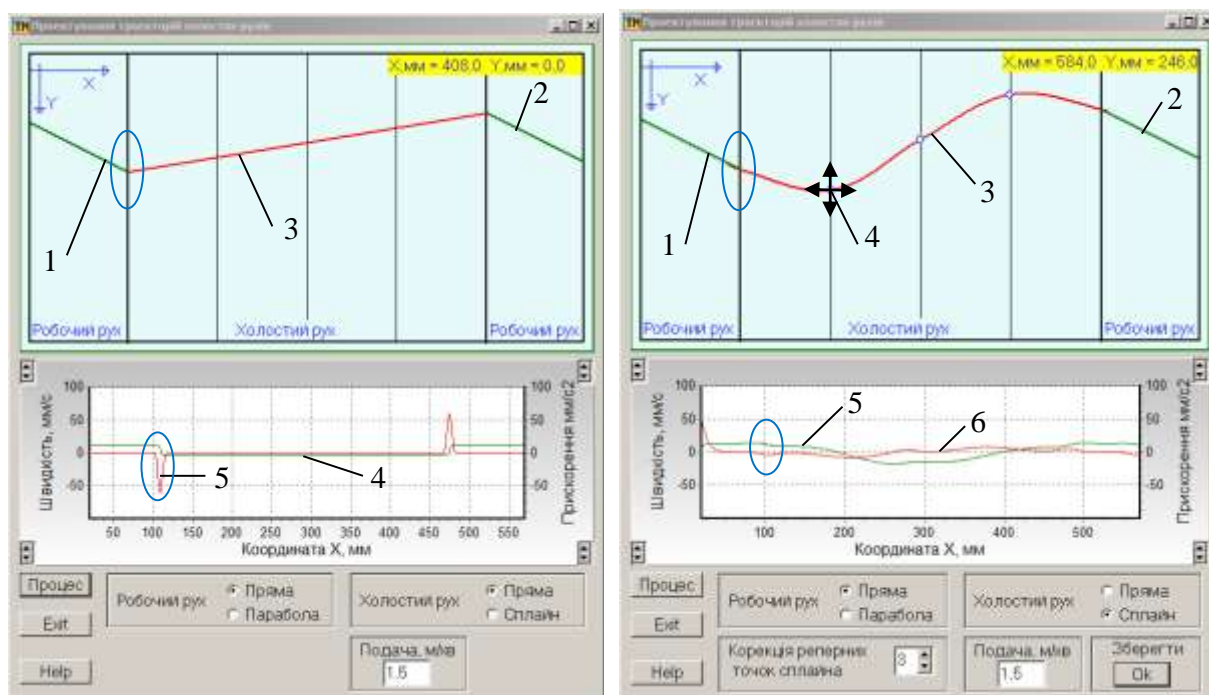
де $U=(x-x_i)/(x_{i+1}-x_i)$.

Отримуємо сплайн який описує траєкторію холостого руху.

Для автоматизації проектування траєкторій холостих рухів була створена прикладна програма (рис.1).

Результати зшивання траєкторій робочих рухів (лінія 1 і 2) і холостого руху (лінія 3) робота представлені як інтерфейс прикладної програми продемонстровані на рис.1. Зміна швидкості відбувається за лінією 4, то графік прискорення набуває стрибків в місцях переходів - лінія 5. Стрибок прискорення досягає 0,04g навіть при такій малій швидкості руху 1,5 м/хв.

Холостий рух представлений сплайном 3 з трьома контрольними точками 4 положення яких можна змінювати (рис.1, б), як і при зшиванні траєкторій фрезерування.



а)

б)

Рис.1. Результати проектування траєкторій холостих рухів для роботів з ЧПК

Після кожної такої зміни в полі віртуального осцилографу з'являються графіки першої і другої (лінія 5 і лінія 6) похідних, які розраховуються автоматично. Під час підготовки програми положення точок змінюється за допомогою мишки в напрямках системи координат, що позначені стрілками. Це забезпечує мінімальне значення другої похідної. Номер для корегування точки вбивають у відповідному віконці інтерфейсу.

В обох випадках гарантована плавність зміни прискорення не зважаючи на використання сплайнів третього порядку замість сплайнів вищих порядків.

Є можливість збереження файлу з результатами при досягненні задовільних результатів за допомогою відповідної кнопки. Збережений файл може бути використаний при формулюванні G-кодів з певним кроком. Збільшення кількості яких не приведе до уповільнення руху оскільки всі сучасні верстати з ЧПК обладнуються системами регулювання подачі Look Ahead and feed rate adjustment function [10].

Висновок.

Для забезпечення плавності траєкторії в місцях зшивання при виконанні технологічних операцій можливе використання Ермітових кубічних сплайнів. Створений програмний продукт виконує поставлені задачі і дозволяє спроектувати необхідний сплайн з подальшим збереженням його в файл.

Список використаних джерел

1. Липсте И. Средства HSM в Mastercam`e. CAD/CAM/CAE Observer, №4, 2004. с.2-12 Режим доступу: http://www.cadcamcae.lv/hot/mastercam_n14_p79.htm
2. ANCA CNC Machines/ Application <https://machines.anca.com/Applications/Medical-Miscellaneous>
3. Нгуен Ван Нам. Оптимизация холостых перемещений инструмента при фрезеровании сложных поверхностей на трехкоординатных станках с ЧПУ: диссертация кандидата технических наук: 05.02.08 // НГУЕН ВАН НАМ, Иркутск, 2015.- 164 с.
4. Sorokin A., Kondratuk A., Starchenko O. Theoretical bases of optimizing a tool idle motion while milling complex surfaces // Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2018. No. 4 (6) p.62-70.
5. Beudaert X., Lavernhe S., Tournier C. Maximum Feedrate Interpolator for Multi-axis CNC Machining with Jerk Constraints. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00986174>
6. Сорокин В.Ф., Комбаров В.В. Сравнение кинематических параметров движения при моделировании траекторий высокоскоростной ЧПУ обработки сплайнами третьей и пятой степени // ISSN 1727-7337. АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ, 2012, № 8 (95) с. 11-17.
7. Петраков Ю.В. Урахування динамічних характеристик формоутворюючих рухів при проектуванні програми управління для верстатів з ЧПУ // Вісник ЖДТУ, Вип.5, том 2, Житомир, 2007.-с.142-150.
8. Петраков Ю.В., Писаренко В.В. Проектирование траекторий холостых движений при шлифовании 3D поверхности протеза коленного сустава человека // Вісник СевНТУ. Сер. : Машиноприладобудування та транспорт. - 2013. - Вип. 140. - С. 104-108. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsntum_2013_140_21
9. Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы // Новосибирск: Наука, 1983. - 215 с.
10. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer №4, 2003, с. 2-8.