УДК [621.791.75.039.053Ж62-408.64]:007.62

С.В. Щербинин, С.В. Комзолов

Планирование траекторий лазерно-технологического комплекса на базе расслаивающихся пространств конфигураций

Предлагается методика планирования траекторий шестикоординатного лазерно-технологического комплекса с использованием расслаивающихся пространств конфигураций при обработке сложных криволинейных поверхностей.

Ключевые слова: лазерно-технологический комплекс, многокоординатный манипулятор, планирование траекторий, математическая модель, пространство конфигураций, геодезическая линия.

Достаточно часто возникают задачи, связанные с обработкой криволинейных поверхностей или их формированием. Для этого используют различное технологическое оборудование. В том числе это может быть лазерно-технологический комплекс (ЛТК) (рис. 1), включающий: лазер *1*; многокоординатный манипулятор (ММ) *2*. На рабочем столе МММ закреплена обрабатываемая деталь *3*.

ММ имеет 4 степени подвижности. Его кинематическая схема приведена на рис. 2. Головка лазера может перемещаться в горизонтальной плоскости по двум направлениям.

Для обкатки поверхности детали лучом лазера по заданной траектории требуется спланировать синхронные перемещения звеньев ММ и лазерной головки.

Рис. 1. Лазерно-технологический комплекс для обработки изделий сложной формы

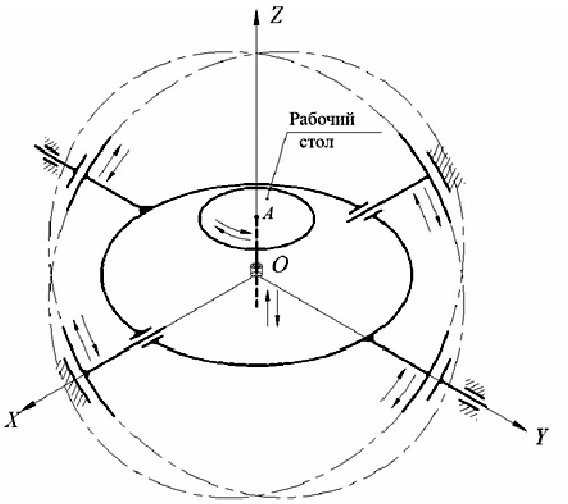

Рис. 2. Кинематическая схема четырехкоординатного манипулятора

Планирование движений звеньев многокоординатного технологического комплекса упрощается на основе пространства конфигураций за счет уменьшения вычислительной сложности алгоритмов расчета [1]. Пространство конфигураций представляет собой n-мерное пространство с системой координат, по осям которой отложены значения обобщенных координат qi (i=1, 2, ..., n) взаимно однозначно определяющих положение всех звеньев механической системы.

Для выполнения поставленной задачи необходима математическая модель поверхности обрабатываемой детали. Считаем, что первоначально поверхность задана дискретным каркасом точек. С вычислительной точки зрения, удобно аппроксимировать такую поверхность полиномиальными сплайнами.

Уравнение отсека поверхности, описанного бикубическим сплайном, имеет следующий вид [1]:

$$\mathbf{r}(u,v)=\sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{3}\mathbf{a}_{ij}u^i v^j, \qquad (1)$$

где $\mathbf{a}_{ij}$ – векторные коэффициенты.

Алгебраической форме (1) бикубического отсека поверхности детали соответствует матричная форма записи его уравнения:

$$[\mathbf{r}]=[\tilde{\mathbf{U}}]\cdot[\mathbf{A}][\tilde{\mathbf{V}}]^T, \qquad (2)$$

где $[\tilde{\mathbf{U}}]=[U^3\ U^2\ U\ 1]^T$; $[\tilde{\mathbf{V}}]=[V^3\ \mathrm{V}^2\ \mathrm{V}\ 1]^T$; $[\mathbf{A}]=\begin{pmatrix} \mathbf{a}_{33} & \mathbf{a}_{32} & \mathbf{a}_{31} & \mathbf{a}_{30} \\ \mathbf{a}_{23} & \mathbf{a}_{22} & \mathbf{a}_{21} & \mathbf{a}_{20} \\ \mathbf{a}_{13} & \mathbf{a}_{12} & \mathbf{a}_{11} & \mathbf{a}_{10} \\ \mathbf{a}_{03} & \mathbf{a}_{02} & \mathbf{a}_{01} & \mathbf{a}_{00} \end{pmatrix}$.

Траектории обкатки поверхности детали лучом лазера можно представить в виде геодезических линий. Так как расстояние между двумя точками геодезической линии является кратчайшей линией между этими точками, то выбор геодезических линий в качестве траекторий обеспечивает плавное перемещение звеньев манипулятора и головки лазера.

Как известно [3], кривая на поверхности будет являться геодезической, если к каждой ее неособой точке геодезическая кривизна равна нулю. Для вычисления геодезической кривизны можно воспользоваться следующим выражением:

$$k_g = k\sin\varphi, \qquad (3)$$

где k – кривизна линии на поверхности; φ – угол, образованный главной нормалью и нормалью к цилиндрической поверхности в их общей точке.

Для расчета координат точек траекторий обработки и соответственно траекторий ЛТК вычисляются дифференциальные характеристики точек траектории обработки: касательные к координатным линиям, касательные плоскости к точкам траектории, нормаль к поверхности – и составляется уравнение первой основной квадратичной формы поверхности.

Для обеспечения необходимого качества технологического процесса лазерный луч должен быть расположен на нормали N в точке касания M_{ij} лазерного луча с поверхностью детали Σ (рис. 3). Расстояние от источника излучения O'' до точки M_{ij} должно быть постоянным.

Чтобы выдержать данные технологические условия, при планировании траекторий звеньев ЛТК требуется, чтобы нормаль N была параллельна оси Z'' системы координат $O''X''Y''Z''$, соотнесенной с лазерной головкой. Для этого необходимо, чтобы направляющие косинусы вектора N имели одинаковые значения с направляющими косинусами оси Z''. Это выполняется с помощью поворотов рабочего стола вокруг осей системы координат OXYZ.

Перемещением лазерной головки и вертикальным перемещением рабочего стола ММ добиваемся коллинеарности векторов N и Z'' и нужного значения длины отрезка $M_{ij}O''$. Описанный технологический процесс можно рассматривать как расслоение евклидова пространства конфигураций E^6 ЛТК на два евклидовых подпространства E_1^3 и E_2^3.

Устанавливается взаимно однозначное соответствие между точками рабочего пространства ЛТК и соответственно точками пространств конфигураций E_1^3 и E_2^3. Каждому вектору N рабочего пространства

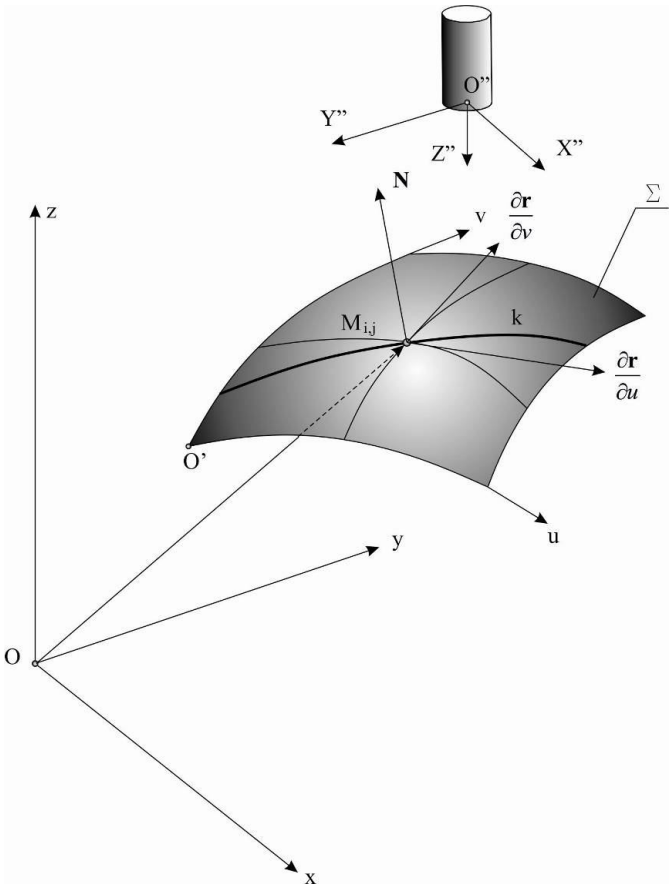

Рис. 3. Ориентация поверхности обрабатываемой детали к лучу лазера

ЛТК ставится в соответствие вектор пространства конфигураций E_1^3. Каждой точке рабочего пространства ставится в соответствие точка пространства конфигураций E_2^3. Выведены операторы преобразования элементов рабочего пространства в пространства конфигураций.

Использование расслаивающихся пространств конфигураций при планировании траекторий ЛТК значительно упрощает задачи, связанные с оптимизацией этих траекторий.

Литература

1. Планирование траекторий многокоординатного манипулятора / С.В. Щербинин, Д.А. Медведев, С.В. Негодяев и др. // Доклады ТУСУР. – 2009. – № 2(20). – С. 122–125.

2. Фокс А. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве // А. Фокс, М. Пратт. – М.: Мир, 1982. – 304 с.

3. Розендорн Э.Р. Теория поверхностей. – М.: Физматлит, 2006. – 304 с.

Щербинин Сергей Васильевич
Канд. техн. наук, доцент отделения каф. ЮНЕСКО ТУСУРа
Тел.: (382-2) 42-87-40, доб. 319
Эл. адрес: sherb@sbi.tusur.ru

Комзолов Сергей Владимирович
Аспирант отделения каф. ЮНЕСКО ТУСУРа
Тел.: (382-2) 42-87-40, доб. 319
Эл. адрес: truth-digger@sibmail.com

Sherbinin S.V., Komzolov S.V.

Trajectory planning based on configuration stratified spaces for technological laser complex

A technique for trajectory planning of 6D technological laser complex, which uses configuration stratified spaces for processing of complicated curvilinear surfaces, is suggested.

Keywords: technological laser complex, multicoordinate manipulator, trajectory planning, mathematical model, configuration space, geodesic line.