

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. М. ХАЧАТУРЯН

ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ СХВАТА
ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

При выполнении промышленными роботами (ПР) транспортных операций к ним предъявляются требования к точности позиционирования и ориентации схвата в начальной и конечной точках, а точность отслеживания траектории не играет большой роли [1]. Для задания траектории движения схвата ПР при выполнении подобных операций используются алгоритмы аппроксимации

кривыми Безье, описываемые полиномиальными функциями [2]:

$$X(t) = \sum_{k=0}^n X_k J_{n,k}(t), \quad 0 \leq t \leq 1; \quad (1)$$

$$J_{n,k}(t) = \frac{n!}{k!(n-k)!} t^k (1-t)^{n-k},$$

где X_k , $X(t)$ — соответственно векторы координат опорных точек сегмента и текущих значений траектории; n — число опорных точек сегмента; t — нормированное время.

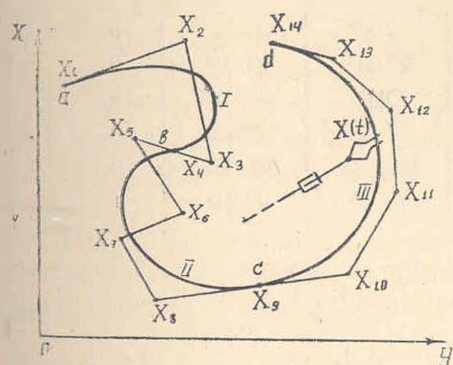


Рис. 1. Траектория движения схвата ПР.

Из полученных соотношений следует, что в начальной $X(0) = X_0$ и конечной $X(1) = X_n$ точках координаты совпадают, а текущие значения траектории проходят вблизи опорных точек (рис. 1).

Пример использования кривых Безье для аппроксимации плоской траектории на трех участках показан на рис. 1. Кривая I на участке ab — третьего порядка, кривые II и III на участках bc и cd — пятого порядка. В табл. 1 и 2 представлены значения коэффициентов $J(t)$ для типовых уравнений кривых при $n = 3$ и 5 соответственно.

При построении траектории движения схвата ПР большое значение играют условия соединения сегментов. Обеспечение непрерывности траектории заданного порядка в местах сопряжения обуславливает непрерывность скорости и ускорения схвата ПР при выполнении транс-

портных операций (плавность движения схвата). Если Y и X соответственно векторы координат точек k -го и $(k+1)$ -го сегментов (рис. 2), где k — число сегментов, то первые производные в точке сопряжения вычисляются из выражений:

Таблица 1

i	t			
	0	1/3	2/3	1
0	1	8/27	1/27	0
1	0	4/9	2/9	0
2	0	2/9	4/9	0
3	0	1/27	8/27	1

Таблица 2

i	t					
	0	1/5	2/5	3/5	4/5	1
0	1	$(4/5)^5$	$(2/5)^5$	$(2/5)^5$	$(1/5)^5$	0
1	0	$(4/5)^4$	$2(3/5)^4$	$3(2/5)^4$	$4(1/5)^4$	0
2	0	$2(4/5)^3$	$54/125$	$72/125$	$32/125$	0
3	0	$32/125$	$72/125$	$54/125$	$128/125$	0
4	0	$4/125$	$48/125$	$162/125$	$256/125$	0
5	0	$(1/5)^5$	$(2/5)^5$	$(3/5)^5$	$(4/5)^5$	1

$$Y'(1) = n(Y_n - Y_{n-1}); \quad (2)$$

$$X'(0) = m(X_1 - X_0),$$

где n и m — число точек в k -ом и $(k+1)$ -ом сегментах, а $Y_n = X_0$.

Вторые производные в точке сопряжения сегментов определяются из выражений:

$$Y''(1) = n(n-1)(Y_n - 2Y_{n-1} + Y_{n-2}); \quad (3)$$

$$X''(0) = m(m-1)(X_0 - 2X_1 + X_2).$$

Условия непрерывности траектории движения схвата в местах сопряжения сегментов по первой и второй производной определяются из равенств:

$$m(X_1 - X_0) = n(Y_n + Y_{n-1}); \quad (4)$$

$$m(m-1)(X_0 - 2X_1 + X_2) = n(n-1)(Y_{n-2} - 2Y_{n-1} + Y_n),$$

совместное решение которых дает непрерывность скорости и ускорения схвата ПР при выполнении транспортных операций.

Алгоритм построения траектории движения схвата основан на использовании выражений (1) и (4) и реализован в виде программы на языке *PL/1*. Исходными данными для вычисления параметров траектории являются: число сегментов, число и координаты точек в сегменте, тип кривой (плоская или пространственная) и число точек, вычисляемых на каждом участке траектории.

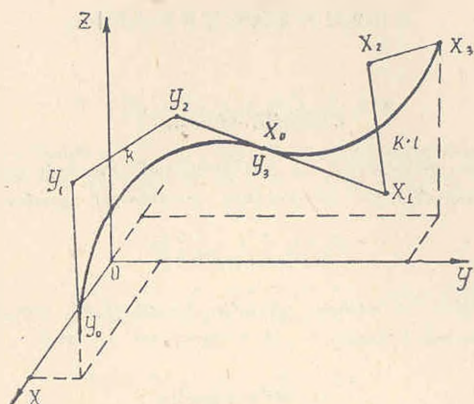


Рис. 2. Выполнение условий непрерывности скорости и ускорения схвата ПР при выполнении транспортных операций.

В отличие от алгоритмов, основанных на использовании многомерных кубических и параболических сплайнов, данный алгоритм позволяет формировать траектории движения схвата ПР в реальном масштабе времени.

Используя кривые Безье, можно также сформировать траекторию движения схвата, обеспечивающую обход препятствий, ограниченных многоугольником (рис. 1, участок *cd*).

ЕрПИ им. К. Маркса

27. I. 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие по применению промышленных роботов /Сб. ст., под ред. Н. Коцухинко. Пер. с англ.— М.: Мир, 1975.— 451 с.
2. Стечкин С. Б., Субботин Ю. Н. Сплайны в вычислительной технике.— М.: Наука, 1976.— 248 с.