ЛИТЕРАТУРА

1. Харин В.М., Шишацкий Ю.И., Мальцев Г.П. Кинетика вакуумной сушки и оптимальное управление процессом // Теорет. основы хим. тех-гии.-М.: 1996, том 30, №3. - С.277-285.
2. Сульг Е.О. Сушка растворов и суспензий в аппаратах фонтанирующего слоя с тангенциальным подводом газа с инертным носителем // Журнал прикл. химии. - Л.:1990, N5, - С.1163-1165.
3. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. - М.: 1960. – 716с.
4. Борисов Т.В. Круковский О.Н, Романков П.Г. Исследование механизма тепломассообмена в процессе сушки в фонтанирующем слое с учетом неравномерности распределения температур // Журнал прикл. химии – Л.: 1990, №2. - С.328-331.
5. Акынбеков Е.К., Куцакова В.Е., Куатбеков М.К. Основы теории и расчета сушки растворов в аппарате со щелевидным подводом теплоносителя. - Алматы, 2000. - 21 с.
6. Кунаева З.А., Айтореева Г.К., Куатбеков М.К., Акынбеков Е.К. Механизм пленкообразования и измельчения пленки в псевдоожиженном слое инертных частиц со смещенным центром тяжести// Вестник НАН РК. Алматы, 2003, N 4. - С. 92-95
7. Кунаева З.А., Айтореева Г.К., Куатбеков М.К., Акынбеков Е.К. Теплообмен при сушке растворов и суспензий в псевдоожиженном слое инертных частиц со смещенным центром тяжести // Вестник НАН РК. - Алматы, 2003, N 5. - С. 123-127.

ТҰЖЫРЫМ

Өнімнің инертті бөлшектерінің бетіне қапталған қабыршақтың талқандалуы оның ылғалдылығының шектеуіне байланысты. Жаңа қабыршақ алдыңғы қапталған қабыршақтың үстінен қапталады. Сондықтан, кептірудің диффузиялық кедергісін анықтау қабыршақтың қалыңдығын емес, соңғы қапталған қабыршаққа байланысты. Тиісті есептеулерден алынған номограмма температураның шектеулерін көрсетеді.

RESUME

The film of product applied on the surface of inert fraction is disintegrated upon achieving the final moisture content. The film of natural product is appiled on the surface covered by dehydrated film had been applied earlier. This the reason that the diffussion resistance is defined not by the whole thickness of the film but only by the last cover. Under the appropriate calculation the derived nomogram reflects the ultimate limiting value of temperatures (maximum inlet and minimum outlet temperatures).

УДК 621.865.8

СИНТЕЗ ПРОГРАММНЫХ ТРАЕКТОРИЙ МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО ПОЛИНОМА ЛАГРАНЖА

УРАЗАЛИЕВ Т.Р., БЕЙСЕМБАЕВ А.А., к.т.н.
Казахский Национальный технический университет им. К.И. Сатпаева

В статье рассмотрены вопросы синтеза программных траекторий по степеням подвижности 3-степенного манипуляционного робота. Известными методами была решена обратная задача кинематики при позиционировании схвата робота в точках, аппроксимирующих данную траекторию движения, затем, полученные результаты с учетом перемещения скоростей и ускорений аппроксимированы точками во временной оси. Далее полученные точки аппроксимированы интерполяционным полиномом Лагранжа по каждой степени подвижности.

В настоящее время в мире интенсивно расширяются области исследований и использования мобильных роботов – мехатронных систем, базирующихся на последних достижениях механики, микропроцессорной техники, контрольно-измерительных систем, информатики и теории управления. Таким образом, актуальность темы исследования определяется необходимостью создания более совершенных систем управления манипуляционных роботов.

Пусть задан манипуляционный робот (МР), имеющий три степени подвижности, первая (1) вращение вокруг оси OZ, вторая

(2) и третья (3) – вращение вокруг прямой линии параллельной плоскости OXY (рис. 1). Обобщенные координаты, в данном случае, углы вращения, обозначим φ_1, φ_2, φ_3.

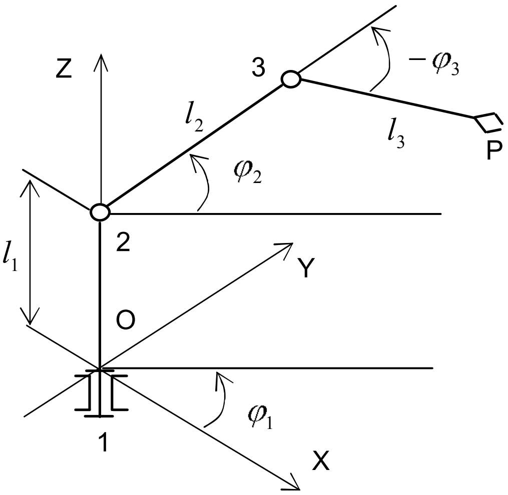

Рис. 1.

Для синтеза программной траектории определим условные размеры звеньев МР, которые равны $l_1 = 3$, $l_2 = 6$, $l_3 = 4$ дециметрам соответственно. Пределы изменения обобщенных координат пусть будут следующими $-90^\circ \le \varphi_1 \le 90^\circ$, $0 \le \varphi_2 \le 180^\circ$, $0 \le \varphi_3 \le 90^\circ$.

Пусть требуется выполнить МР движение вдоль окружности радиуса $R = 2$ дециметра, расположенного на высоте $l_1 = 3$ дециметра, перпендикулярно плоскости OXY. Центр окружности расположен в точке с координатами $x_O = 7$, $y_O = 0$, $z_O = 3$ дециметра соответственно.

Данную окружность зададим восьмью точками окружности, которые представлены на рисунке 2.

Координаты восьми точек, задающих окружность (рис. 2), сведены в таблицу 1.

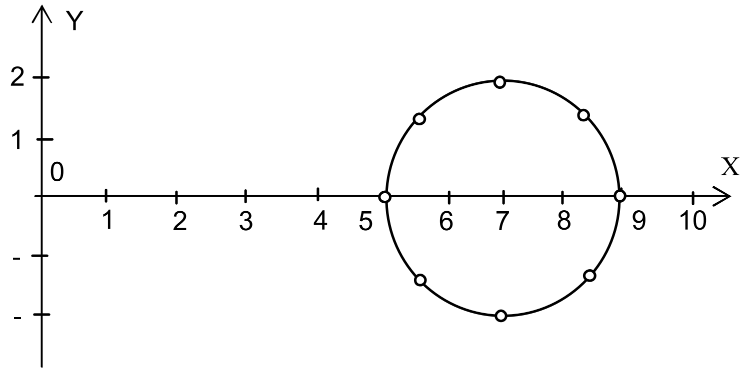

Рис. 2. Заданная окружность, вдоль которой должен двигаться схват МР.

Таблица 1. Координаты точек заданной окружности

Координаты точек	Номера точек, задающих окружность							
	1	2	3	4	5	6	7	8
x_P	5	$7+\sqrt{2}$	7	$7-\sqrt{2}$	9	$7+\sqrt{2}$	7	$7-\sqrt{2}$
y_P	0	$\sqrt{2}$	2	$\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$	-2	$-\sqrt{2}$
z_P	3	3	3	3	3	3	3	3

Для определения закона изменения обобщенных координат по степеням подвижности МР, необходимо вначале решить обратную задачу кинематики. Для МР, имеющего три степени подвижности, обратная задача кинематики решается в аналитическом виде, при помощи следующих уравнений [1]:

$$\left.\begin{aligned}
&\varphi_1 = arctg(y_p / x_p);\\
&\varphi_2 = arctg\,\frac{z_p - l_1}{(x_p^2 + y_p^2)^{1|2}} \pm \arccos\frac{l_2^2 - l_3^2 + x_p^2 + y_p^2 + (z_p - l_1)^2}{2l_2[x_p^2 + y_p^2 + (z_p - l_1)^2]^{1|2}};\\
&\varphi_3 = \pm[\pi - \arccos\frac{l_2^2 + l_3^2 - x_p^2 - y_p^2 - (z_p - l_1)^2}{2l_2 l_3}].
\end{aligned}\right\} . \qquad (1)$$

В результате решения обратной задачи получим значения обобщенных координат по степеням подвижности МР, которые сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Значения обобщенных координат для позиционирования схвата в заданных точках окружности.

Координаты точек	Номера точек, задающих окружность							
	1	2	3	4	5	6	7	8
φ_1	0	14,2148	15,953	9,546	0	-9,546	-15,953	-14,2148
φ_2	41,43	39,718	33,337	25,006	20,752	-25,006	-33,337	-39,718
φ_3	124,2	113,023	88,759	64,263	52,76	-64,263	-88,759	-113,023

Для проверки правильности результатов обратной задачи решается прямая задача кинематики и сравниваются полученные точки позиционирования схвата МР с заданными точками окружности. В данном случае прямая задача кинематики решается при помощи следующих уравнений:

$$\left.\begin{aligned}
&x_p = l_2\cos\varphi_1\cos\varphi_2 + l_3\cos\varphi_1\cos(\varphi_2 - \varphi_3);\\
&y_p = l_2\sin\varphi_1\cos\varphi_2 + l_3\sin\varphi_1\cos(\varphi_2 - \varphi_3);\\
&z_p = l_1 + l_2\sin\varphi_2 + l_3\sin(\varphi_2 - \varphi_3).
\end{aligned}\right\} . \qquad (2)$$

Далее произведем интерполяцию значений обобщенных координат $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ полиномами Лагранжа. Рассмотрим подробно эту процедуру для первой обобщенной координаты φ_1. Зная значения обощенной координаты в узловых точках, составим полином Лагранжа в следующем виде:

$$\varphi_1(t) = 0\cdot\frac{(t-1)\cdot(t-3)\cdot(t-4)\cdot(t-5)\cdot(t-6)\cdot(t-7)\cdot(t-8)}{(0-1)\cdot(0-3)\cdot(0-4)\cdot(0-5)\cdot(0-6)\cdot(0-7)\cdot(0-8)} + (-14{,}2148)\cdot$$
$$\frac{(t-0)\cdot(t-3)\cdot(t-4)\cdot(t-5)\cdot(t-6)\cdot(t-7)\cdot(t-8)}{(1-0)\cdot(1-3)\cdot(1-4)\cdot(1-5)\cdot(1-6)\cdot(1-7)\cdot(1-8)} +$$
$$14{,}2148\cdot\frac{(t-0)\cdot(t-1)}{(3-0)\cdot(3-1)}\frac{(t-4)\cdot(t-5)\cdot(t-6)\cdot(t-7)\cdot(t-8)}{(3-4)\cdot(3-5)\cdot(3-6)\cdot(3-7)\cdot(3-8)} +$$
$$(-15{,}953)\cdot\frac{(t-0)\cdot(t-1)\cdot(t-3)\cdot(t-5)}{(4-0)\cdot(4-1)\cdot(4-3)\cdot(4-5)}\frac{(t-6)\cdot(t-7)\cdot(t-8)}{(4-6)\cdot(4-7)\cdot(4-8)} +$$
$$15{,}953\cdot\frac{(t-0)\cdot(t-1)\cdot(t-3)\cdot(t-4)\cdot(t-6)\cdot(t-7)\cdot}{(5-0)\cdot(5-1)\cdot(5-3)\cdot(5-4)\cdot(5-6)\cdot(5-7)\cdot}\frac{(t-8)}{(5-8)} +$$
$$+(-9{,}546)\cdot\frac{(t-0)\cdot(t-1)\cdot(t-3)\cdot(t-4)\cdot(t-5)\cdot(t-7)\cdot(t-8)}{(6-0)\cdot(6-1)\cdot(6-3)\cdot(6-4)\cdot(6-5)\cdot(6-7)\cdot(6-8)} + 9{,}546\cdot$$
$$\times\frac{(t-0)\cdot(t-1)\cdot(t-3)\cdot(t-4)\cdot(t-5)\cdot(t-6)\cdot(t-8)}{(7-0)\cdot(7-1)\cdot(7-3)\cdot(7-4)\cdot(7-5)\cdot(7-6)\cdot(7-8)} + 0\cdot\frac{(t-0)\cdot(t-1)\cdot(t-3)\cdot}{(8-0)\cdot(8-1)\cdot(8-3)\cdot}$$
$$\times\frac{(t-4)\cdot(t-5)\cdot(t-6)\cdot(t-7)}{(8-4)\cdot(8-5)\cdot(8-6)\cdot(8-7)}.$$

Далее определим значения $L_i(t)$:

$$L_0(t) = 0;$$
$$L_1(t) = -0{,}0028204\cdot t^7 + 0{,}09307\cdot t^6 - 1{,}255\cdot t^5 + 8{,}842\cdot t^4 - 34{,}279\cdot t^3 + 9{,}246\cdot t^2 - 56{,}8592\cdot t,$$
$$L_2(t) = -0{,}01974\cdot t^7 + 0{,}612\cdot t^6 - 7{,}601\cdot t^5 + 47{,}876\cdot t^4 - 158{,}218\cdot t^3 + 250{,}022\cdot t^2 - 132{,}671\cdot t,$$
$$L_3(t) = -0{,}05539\cdot t^7 + 1{,}662\cdot t^6 - 19{,}831\cdot t^5 + 118{,}986\cdot t^4 - 370{,}974\cdot t^3 + 549{,}398\cdot t^2 - 279{,}186\cdot t,$$
$$L_4(t) = -0{,}06647\cdot t^7 + 1{,}928\cdot t^6 - 22{,}135\cdot t^5 + 127{,}295\cdot t^4 - 379{,}826\cdot t^3 + 40{,}824\cdot t^2 - 268{,}019\cdot t,$$
$$L_5(t) = -0{,}02651\cdot t^7 + 0{,}742\cdot t^6 - 8{,}219\cdot t^5 + 45{,}607\cdot t^4 - 131{,}756\cdot t^3 + 182{,}745\cdot t^2 - 89{,}092\cdot t,$$
$$L_6(t) = -0{,}009469\cdot t^7 + 0{,}256\cdot t^6 - 2{,}737\cdot t^5 + 14{,}744\cdot t^4 - 41{,}573\cdot t^3 + 56{,}592\cdot t^2 - 27{,}273\cdot t,$$
$$L_7(t) = 0.$$

Тогда получим интерполяционный полином в следующем виде:

$$\varphi_1(t) = -0{,}1804\cdot t^7 + 5{,}293\cdot t^6 - 61{,}779\cdot t^5 + 363{,}352\cdot t^4 - 116{,}627\cdot t^3 + 1648{,}829\cdot t^2 - 853{,}1014\cdot t.$$

Подобным образом можно получить интерполяционные полиномы и по другим обобщенным координатам:

$$\varphi_2(t) = -0{,}411\cdot t^7 + 12{,}075\cdot t^6 - 141{,}292\cdot t^5 + 834{,}197\cdot t^4 - 2580{,}135\cdot t^3 +$$
$$+ 3856{,}4102\cdot t^2 - 2061{,}994\cdot t + 41{,}4306,$$
$$\varphi_3(t) = -1{,}098\cdot t^7 + 32{,}302\cdot t^6 - 378{,}4906\cdot t^5 + 2238{,}408\cdot t^4 - 6938{,}001\cdot t^3 +$$
$$+ 10400{,}169\cdot t^2 - 5590{,}514\cdot t + 124{,}2.$$

Полученные интерполяционные полиномы представляют собой программные траектории по степеням подвижности 3–степенного манипуляционного робота, обеспечивающие движение схвата вдоль заданной окружности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. - М.: Высшая школа, 1986.–264 с.

2. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами. -М.: Наука, МГТУ, 2000. –400с.

3. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. -М.: Мир, 1989. –624с.

ТҰЖЫРЫМ

Жұмыста манипуляциялы роботтың ұстағышының берілген шеңбер бойымен қозғалысы, интерполяциялы Лагранж полиномын қолдану арқылы есептелген.

RESUME

The paper presents the calculations of motion gripper manipulator robot in a given circle using Lagrange interpolation polynomials.