

Bezier Spline을 이용한 새로운 Weaving Motion 궤적 생성 알고리즘

김대영*, 김재량(창원대 대학원 기계설계공학과), 정원지(창원대 기계설계공학과)
서영교, 홍형표(두산메카텍(주))

A New Planning Algorithm of Weaving Trajectory Using Bezier Spline

D. Y. Kim(Mech. Design & Manufacturing Dept., CNU), W. J. Chung(School of Mechatronics., CNU)
Y. K. Seo, H. P. Hong(Doosan Mecatec Co., Ltd.)

ABSTRACT

In this paper, we propose a new weaving trajectory algorithm for the arc welding of a articulated manipulator. The algorithm uses the theory of Bezier spline. We make a comparison between the conventional algorithms using Catmull-Rom curve and the new algorithms using Bezier spline. The proposed algorithm has been evaluated based on the MATLAB environment in order to illustrate its good performance. The algorithm has been implemented on to the industrial manipulator of DR6 so as to show its real possibility. Through simulations and real implementations, the proposed algorithm can result in high-speed and flexible weaving trajectory planning and can reduce the processing time because it needs one-half calculation compared to the conventional algorithm using Catmull-Rom curve.

Key Words : Articulated Manipulator(6축 수직 다관절 로봇), Weaving Trajectory(위빙 궤적), Simple Weaving(직선 위빙), Triangular Weaving(삼각 위빙), Bezier Spline, Catmull-Rom Curve

1. 서론

최근 숙련된 용접 기능사의 부족, 열악한 작업 환경의 기피, 고임금화로 인하여 용접 로봇을 도입하는 사례가 많다. 단순 용접 뿐만 아니라 복잡한 용접에서도 로봇을 많이 사용하고 있다. 따라서 용접 로봇의 다양화와 고기능화가 더욱 더 요구되고 있다. 특히 로봇의 위빙 동작은 유연한 로봇 동작의 대표적인 예로써 숙련된 사람이 용접 할 때와 같은 로봇 궤적을 생성해야 한다. 용접 로봇에 새로운 위빙 동작을 적용함으로써 여러 가지 용접이 가능하고, 생산성을 높일 수 있으며 용접 품질을 향상시킬 수 있다.

본 연구는 6축 수직다관절 로봇의 용접 시 위빙 동작에 관한 것이다. 기존 DRC/DR6(두산메카텍(주))의 산업용 로봇 명칭에 사용된 Catmull-Rom Curve를 이용한 위빙 동작 알고리즘을 보완하기 위해 Bezier Spline¹을 이용한 새로운 알고리즘을 제안한다. 연구수행에 있어서는 MATLAB에 의한 시뮬레이

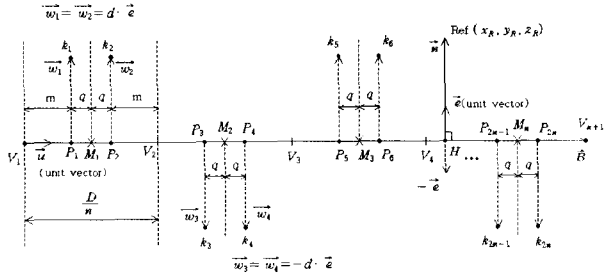
션을 통해 실제 로봇에 적용시킨다.

2. 새로운 위빙 운동 알고리즘

새로운 알고리즘은 직선 위빙 운동과 삼각 위빙 운동으로 나누어진다.

2.1 직선 위빙 운동 알고리즘

직선 위빙 운동 알고리즘에서 시점 $(V_1(x_1, y_1, z_1))$, 종점 $(V_{n+1}(x_{n+1}, y_{n+1}, z_{n+1}))$, 참조점 $(Ref(x_R, y_R, z_R))$, d (진폭), q (smooth 상수), n (위빙 횟수)은 사용자가 입력하는 값이다. [Fig. 1]과 같이 먼저 시점과 종점을 연결한 \vec{B} 의 단위 벡터인 \vec{u} 를 구한다. \vec{u} 를 이용하여 시점과 종점을 n 등분하는 점 V_i ($i=1, 2, 3, \dots, n+1$)를 구한다. V_i, V_{i+1} 을 이용하여 V_i, V_{i-1} 의 중점 M_i



d : weaving amplitude, q : smooth constant

Fig. 1 Simple weaving motion

($i=1, 2, 3, \dots, n$)를 구하고, M_i 와 $\pm q$ 을 이용하여 P_i ($i=1, 2, 3, \dots, 2n$)를 구한다. 또한, H좌표를 이용하여 \vec{u} 에 수직이면서 참조점을 지나는 단위벡터 \vec{e} 를 구한 후 \vec{e} , d , P_i 를 이용하여 k_i ($i=1, 2, 3, \dots, 2n$)를 구한다.

시점과 종점을 n (n 은 정수) 등분한 첫 번째 구간의 Bezier Spline 조정점들은 (V_1, k_1, k_2, V_2)이 된다. 즉, 시점 (V_1), 진폭과 smooth 정도에 결정되어 지는 \vec{e} 방향의 두 점 (k_1, k_2), n 등분된 점들 중 두 번째 점 (V_2)으로 이루어진다. 첫 번째 구간의 위빙 방향은 \vec{e} 방향과 동일하며 그 반대도 가능하다. 두 번째 구간의 Bezier Spline 조정점들 (V_2, k_3, k_4, V_3)으로 이루어지며, 위빙 방향은 앞 구간의 위빙 방향과 반대가 된다. 이렇게 반복하여 n 번째 구간까지 구한 Bezier Spline을 연결하여 직선 위빙 운동을 완성한다.

2.2 삼각 위빙 운동 알고리즘

[Fig.2]의 삼각 위빙 운동에서 $a_1, b_1, c_1, d (=c_n), c$ (smooth 상수), $step$ 은 사용자가 입력하는 값이다.

$$\vec{u} = \left(\frac{x_{n+1}-x_1}{D}, \frac{y_{n+1}-y_1}{D}, \frac{z_{n+1}-z_1}{D} \right) \quad (1)$$

$$D = \sqrt{(x_{n+1}-x_1)^2 + (y_{n+1}-y_1)^2 + (z_{n+1}-z_1)^2}$$

식(1)과 같이 먼저 c_1, d 를 연결한 벡터의 단위 벡터를 구하고, 식(1)의 단위벡터를 이용하여 (a_1, a_2, \dots, a_n), (b_1, b_2, \dots, b_n), (c_1, c_2, \dots, c_n)을 구한다.

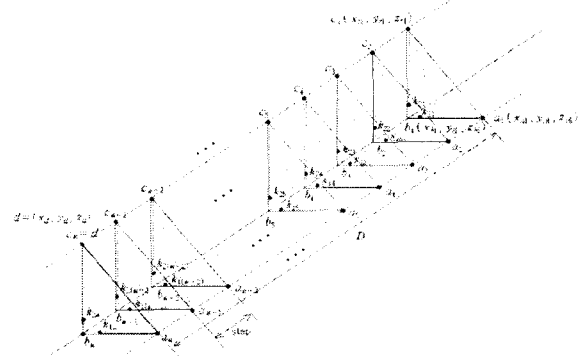


Fig. 2 Triangular weaving motion

$$\vec{u}_{k1} = \left(\frac{x_{a1}-x_{b1}}{D_1}, \frac{y_{a1}-y_{b1}}{D_1}, \frac{z_{a1}-z_{b1}}{D_1} \right) \quad (2)$$

$$D_1 = \sqrt{(x_{a1}-x_{b1})^2 + (y_{a1}-y_{b1})^2 + (z_{a1}-z_{b1})^2}$$

$$k_{1i} = b_i + \vec{u}_{k1} \times c \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

$$\vec{u}_{k2} = \left(\frac{x_{c1}-x_{b1}}{D_2}, \frac{y_{c1}-y_{b1}}{D_2}, \frac{z_{c1}-z_{b1}}{D_2} \right) \quad (4)$$

$$D_2 = \sqrt{(x_{c1}-x_{b1})^2 + (y_{c1}-y_{b1})^2 + (z_{c1}-z_{b1})^2}$$

$$k_{2i} = b_i + \vec{u}_{k2} \times c \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

그리고, 식(2), 식(4)에서 구한 단위벡터와 Bezier Spline의 smooth 정도에 따라 (b_1, b_2, \dots, b_n)으로부터 식(3), 식(5)를 이용하여 ($k_{11}, k_{12}, \dots, k_{1n}$), ($k_{21}, k_{22}, \dots, k_{2n}$)을 구한다. 여기서 구한 점들은 모두 Bezier Spline의 조정점들이 된다. 첫 번째 구간의 Bezier Spline 조정점들은 (a_1, k_{11}, k_{21}, c_1)이 되고, 두 번째 곡선의 조정점들은 (a_2, k_{12}, k_{22}, c_2)가 된다. 첫 번째 곡선과 두 번째 곡선은 c_1 과 a_2 를 이용한 직선으로 연결된다. 이렇게 n 번째 구간까지 반복하여 삼각 위빙 운동을 완성한다.

3. Catmull-Rom 알고리즘과의 비교

기존의 Catmull-Rom 곡선^{2,3}을 이용한 알고리즘과 새롭게 제안한 알고리즘을 비교하였다.

3.1 직선 위빙 운동

직선 위빙 운동에서 기존의 Catmull-Rom Curve를 이용한 알고리즘은 c (단, $0 \leq c = 1$)라는 상수를 통해 곡선의 부드러움 정도를 조절할 수 있지만, 한 구간의 곡선을 얻기 위해서는 4개의 조정점을 이용한 2번의 계산 필요하다. 반면, Bezier Spline을 이용한 알고리즘은 조정점에 의해 곡선의 부드러움 정도를 제어할 수 있고, 4개의 조정점을 이용한 1번의 계산으로 한 구간의 곡선을 얻을 수 있다. 따라서, 계산량이 절반으로 줄어들어 실제 로봇 구현에 있어서 용이하다.

3.2 삼각 위빙 운동

삼각 위빙 운동에서도 기존의 Catmull-Rom Curve를 이용한 알고리즘은 c (단, $0 \leq c = 1$)라는 상수를 통해 곡선의 부드러움 정도를 조정한다. 그러나, [Fig.3]처럼 smooth 상수 $c=0$ 인 경우 완전한 삼각

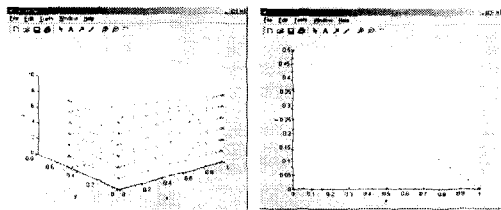
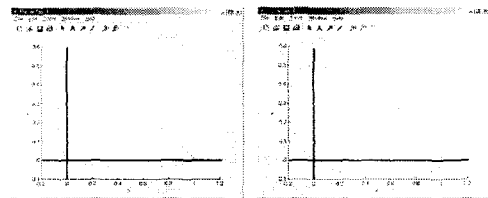


Fig. 3 Triangular weaving motion using catmull-rom curve at $c=0$

각형 용접 궤적을 나타내지만, 나머지 구간에서는 용접 궤적이 실제 용접 경로를 벗어나 용접하고자 하는 물체에 파고드는 단점이 있다. [Fig.4]에서처럼 실제 용접경로는 실선이지만, 용접 궤적은 실제 용접 경로를 벗어나 용접물에 파고든다. 또한, smooth 상수 c 가 증가할수록 실제 용접경로에서 많이 벗어난다.



(a) $c=0.3$ (b) $c=0.8$
Fig. 4 Triangular weaving motion using catmull-rom curve

반면, Bezier Spline을 이용한 새로운 알고리즘은 [Fig.5]처럼 용접 궤적이 용접물에 파고들지 않는다. 또한, c (단, $0 \leq c = 1$)의 변화에 따라 삼각형 꼭

지점 부근에서 곡선의 부드러움 정도를 조절할 수 있다.

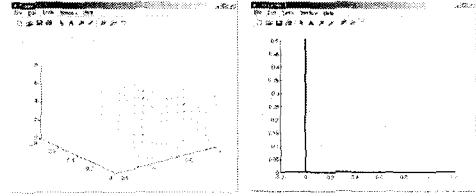


Fig. 5 Triangular weaving motion using bezier spline at $c=0.1$

4. 시뮬레이션

앞서 제안한 직선 위빙 운동 및 삼각 위빙 운동을 MATLAB에서 시뮬레이션 한 결과이다.

4.1 직선 위빙 운동

[Fig.6]은 임의로 시점 (5,8,0), 종점 (54,37,0), 참조점 (45,23,0), 진폭 $d=2$, smooth 상수 $q=0.4$, 위빙 횟수 $n=18$ 인 경우 MATLAB 시뮬레이션 결과이다.

[Fig.7]은 임의의 네 개의 연속된 직선인 경우 위빙 하는 것이다. 이 때에는 각 직선간의 교점과 각 직선의 참조점만 추가해서 입력하면 된다. 각 직선의 위빙이 끝나는 부분과 그 다음 직선이 시작하는 부분은 항상 중첩 없이 부드럽게 연결되도록 하였다.

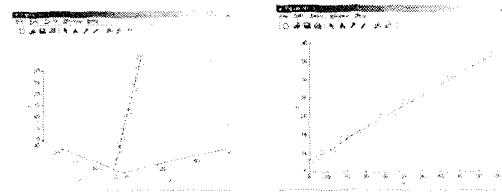


Fig. 6 Simple weaving motion result based on MATLAB

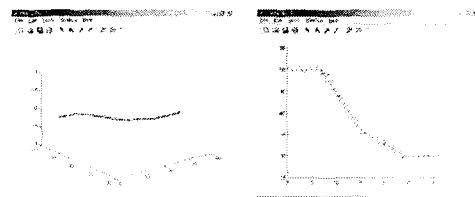


Fig. 7 Simple weaving motion of continuity line

4.2 삼각 위빙 운동

[Fig.8]은 임의로 $a_1(1,0,0)$, $b_1(0,0,0)$, $c_1(0,0.5,0)$, $d(0,0.5,8)$, $c=0.05$, $step=1$ 인 값을 입력한 경우이다.

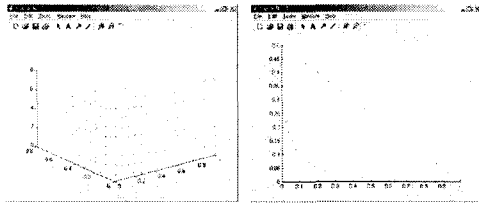


Fig. 8 Triangular weaving motion result based on MATLAB

기존의 Catmull-Rom Curve를 이용한 알고리즘의 결과처럼 용접물을 파고드는 부분이 나타나지 않으며, smooth 상수 c 로서 곡선의 부드러운 정도를 조절할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 수직다관절 매니퓰레이터의 아크 용접 시 위빙 운동에 관한 새로운 알고리즘을 제안하였다. MATLAB⁴을 이용하여 제안된 Bezier Spline을 이용한 알고리즘과 기존의 Catmull-Rom 곡선을 이용한 알고리즘을 비교해 보았다. MATLAB으로 시뮬레이션 한 결과 계획되는 용접 궤적의 정확도나 계산량 면에서 제안된 알고리즘이 더 우수함을 알 수 있었다. 즉, 정확하면서도 계산량이 적어 processing time을 줄일 수 있었고, 현대 로봇에 요구되는 고속화 및 유연한 로봇 동작에 적합한 알고리즘임을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터(RRC)의 지원에 의한 것이다.

이 논문은 2002년도 창원대학교 연구비 및 두산네카텍(주)의 지원에 의한 것이다.

참고문헌

1. 이현찬, 채수원, 최 영, "컴퓨터 그래픽스 및 형상 모델링", 시그마프레스, pp. 276-280, 1997.
2. I. H. Suh, H. J. Yuh and K. S. Eum, "Weaving

Generation Technology I", Summer Workshop, Research Center for New Technology of Control and Instrumentation, 1993.

3. I. H. Suh, H. J. Yuh and K. S. Eum, "Weaving Generation Technology II", Winter Workshop, Research Center for New Technology of Control and Instrumentation, 1994.

4. Solc, F., "Matrix Model of Robot in Matlab Simulink" Lecture notes in computer science, pp. 250-258, 2000