LabVIEW[®] 기반 6축 수직 다관절 로봇(RS2)의 이중 모션 블랜딩 연구

이동선*, 정원지⁺, 장준호⁺, 김만수⁺

(Manuscript received: Nov, 7, 2012 / Revised: Jan, 31, 2013 / Accepted: Feb, 4, 2013)

Implementation of LabVIEW[®]-based Joint-Linear Motion Blending on a Lab-manufactured 6-Axis Articulated Robot (RS2)

D. S. Lee*, W. J. Chung⁺, J. H. Jang⁺, M. S. Kim⁺

Abstract

For fast and accurate motion of 6-axis articulated robot, more noble motion control strategy is needed. In general, the movement strategy of industrial robots can be divided into two kinds, PTP (Point to Point) and CP (Continuous Path). Recently, industrial robots which should be co-worked with machine tools are increasingly needed for performing various jobs, as well as simple handling or welding. Therefore, in order to cope with high-speed handling of the cooperation of industrial robots with machine tools or other devices, CP should be implemented so as to reduce vibration and noise, as well as decreasing operation time. This paper will realize CP motion (especially joint-linear) blending in 3-dimensional space for a 6-axis articulated (lab-manufactured) robot (called as "RS2") by using LabVIEW[®] (6) programming, based on a parametric interpolation. Another small contribution of this paper is the proposal of motion blending simulation technique based on Recurdyn[®] V7 and Solidworks[®], in order to figure out whether the joint-linear blending motion can generate the stable motion of robot in the sense of velocity magnitude at the end-effector of robot or not. In order to evaluate the performance of joint-linear motion blending, simple PTP (i.e., linear-linear) is also physically implemented on RS2. The implementation results of joint-linear motion blending and PTP are compared in terms of vibration magnitude and travel time by using the vibration testing equipment of Medallion of Zonic[®]. It can be confirmed verified that the vibration peak of joint-linear motion blending has been reduced to 1/10, compared to that of PTP.

Key Words : Hybrid motion blending(이중 모션 블랜딩), 6-axis articulated robot(6축 수직 다관절 로봇), PTP motion(순차 운동), Recurdyn[®] V7(다물체 동역학 해석 툴), LabVIEW[®] programming(그래픽 기반 프로그래밍 소프트웨어)

* 창원대학교 기계설계공학과
주소: 641-773 경남 창원시 의창구 사림동 9번지
+ 창원대학교 기계설계공학과

✉ Corresponding Author E-mail: wjchung@changwon.ac.kr

1. 서론

현대 로봇의 이동방식은 크게 PTP(Point to Point)모션과 CP(Continuous Path-연속 관절 운동)모션으로 나눌 수 있다⁽¹⁾. 초기의 산업용 로봇은 대량 생산 라인에서 단순 반복 작업을 위주로 하였기 때문에 PTP모션만으로 충분하였다. 그러나 현대에는 단순 반복 작업용 로봇, 용접용 로봇뿐만 아니라 공작기계에 결합하여 다양한 기능을 수행할 수 있는 산업용 로봇을 필요로 하고 있다. 따라서 앞으로 다양한 분야의 로봇 수요 증가에 대응하기 위해서는 고속 핸들링을 위한 연속 관절 운동(CP)을 필수적으로 구현할 수 있어야 한다. 연속 관절 운동 구현 시 부드럽고 신속한 핸들링이 가능하며, 소음 및 진동 감소 또한 가능하다.

연속관절운동이란 Fig. 1과 같이 경로를 무시하고 시작점에서 경유점을 이용하여 끝점에 도달하는 운동으로 경유점에서 정지하지 않고 지나가기 때문에 부드러운 모션 구현 및 이동시간 단축이 가능하다.

기본적인 로봇의 CP 동작은 Fig. 2와 같이 starting point에서 via point, via point에서 목표점까지의 각각의 사다리꼴 velocity profile를 중첩하여 구현한다. joint보간 동작을 blending하는 방법은 현재 이동 명령 신호의 velocity profile과 다음 명령 신호의 velocity profile을 시간 축을 중심으로 중첩시켜 현재 명령 신호의 via point 부근에서 부드럽게 블렌딩 시키는

것이다. 이 CP 구현으로 인해 이동시간 단축 및 진동 저감의 효과를 얻을 수 있다.

기존의 CP방식은 단순 Velocity Superposition을 이용한 것으로, 여러 가지 Velocity Superposition의 경우를 고려하여 알고리즘이 만들어졌기 때문에 식의 수가 많으며 로봇의 실제 구현 시 어려운 점이 있다. 따라서, 본 논문은 parameter $u(t)$ 를 이용하여 보다 쉽게 CP를 구현 할 수 있는 방법을 이용, 기존 Hybrid Motion Blending Algorithm of 3-Axis SCARA Robot using Parametric Interpolation 논문에서 SCARA 로봇에 이중 모션 블렌딩을 적용시켜 CP를 구현시켰다. 하지만 3축으로 구성된 SCARA로봇은 제어 알고리즘 자체가 단순한 것에 비해 6-axis Articulated Manipulator은 SCARA보다 제어 알고리즘이 보다 복잡해지기 때문에 자체 설계 및 제작한 수직 다관절 로봇 RS2에 이론을 적용시켜 CP를 구현 하려 한다. 여기서 사용된 6축 수직 다관절 로봇은 600Kg 이상급의 가반 하중을 갖는 고 강성, 고 토크 초중량물 로봇의 구현을 위해 실제 모델의 1/4 사이즈의 연구용 프로토 타입을 제작하고 이중 모션 블렌딩을 적용하는 연구를 진행 하려 한다⁽⁵⁾. 또한, RS2를 실제로 제어하기 전에 과도한 Pulse값이 주어지면 로봇의 구동 범위를 넘어 파손될 위험이 있다. 따라서, RecurdynV7 을 통해 해석 및 Solidworks[®]와 LabVIEW[®] 연동을 통한 시뮬레이션을 실시하여 제어의 신뢰성을 확보하겠다.

2. 이중 모션 블렌딩 알고리즘 및 프로그래밍

이중 모션 블렌딩은 서로 다른 두 가지 모션을 경유점 부근에서 속도 중첩을 하여 신속하고 부드러운 동작을 만들어 내는 것이다. 일반적인 로봇의 보간 방식은 관절보간, 직선보간, 원호 보간이 대표적이다.

LabVIEW[®]를 이용한 프로그램을 만들기 위해선 앞서 제시한 매개변수를 이용한 속도중첩 이론식 및 식에서 필요한 역기구학 등의 이론이 필요하다.

따라서 매개변수를 이용한 3축 SCARA로봇의 이중모션 블렌딩 논문에서 제시한 이론식을 3축 로봇에 적용하였지만 본 논문에선 6축 수직 다관절 로봇에 맞게 재 프로그래밍 하여 적용하려 한다.

프로그래밍을 하기에 앞서 간단하게 결과 식을 다음과 같이 나타 낼 수 있다^(1,2).

매개변수 $u(t)$ 를 이용한 속도 ProFile 기본 식

$$P^i(u(t)) = P_e^i - u(t)(P_e^i - P_s^i), \quad u \in [0,1] \quad (1)$$

여기서, i : 축 번호

Fig. 1 PTP motion and CP motion

Fig. 2 Superposition of velocity

식 (1)을 이용한 구간별 속도 중첩 식

- ① $0 \leq t < t_{bs}$ $P^i(u_1(t)) = P_v^i - u_1(t)(P_v^i - P_s^i)$
- ② $t_{bs} \leq t < t_{be}$ $P^i(u_1(t), u_2(t))$
 $= P_v^i - u_1(t)(P_v^i - P_s^i) - u_2(t)(P_e^i - P_v^i)$
- ③ $t_{be} \leq t \leq t_{total}$ $P^i(u_2(t)) = P_v^i - u_2(t)(P_e^i - P_v^i)$

(1) 식을 이용한 관절 보간식

$$J(u(t)) = J_e - u(t)(J_e - J_s), u \in [0,1] \quad (2)$$

여기서, $J(u(t))$: 관절의 위치 값 e : 종점 s : 시점. 같은 방식으로 직선 보간은 다음과 같이 정의 된다.

$$L(u(t)) = P_e - u(t)(P_e - P_s), u \in [0,1] \quad (3)$$

여기서, $L(u(t))$ 는 직선 보간을 의미하며, 실제 로봇 끝단의 시점에서 종점까지 직선으로 움직일 때의 남은 이동 량이 된다. P_e 와 P_s 는 직교 좌표계에서 직선 이동할 시 끝단의 위치 값으로 시점과 종점을 의미한다.

실제 로봇의 제어를 위해서는 관절의 값으로 변환하여야 한다. 직선에 따른 관절 값을 역기구학을 통하여 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

직선에 따른 관절 값을 역기구학을 통하여 구하면 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$J(u(t)) = \text{InvKin}(L(u(t))) \\ = \text{InvKin}(P_e - u(t)(P_e - P_s)), u \in [0,1] \quad (4)$$

여기서, $\text{InvKin}(L(u(t)))$ 는 직선보간에 따른 역기구학 변환을 의미한다.

원호 보간식

$$C(u(t)) = P_e + (P_s - P_e) \cos((1 - u(t))\Delta\theta) \\ + k \times (P_s - P_e) \sin((1 - u(t))\Delta\theta) \quad (5)$$

$$J(u(t)) = \text{InvKin}(C(u(t))), u \in [0,1] \quad (6)$$

$\text{InvKin}(C(u(t)))$ 는 원호 보간에 따른 역기구학 변환을 의미한다. 위의 (2)~(6)식을 이용하여 이중모션 블렌딩 식을 정의할 수 있다. 우선 직선 보간의 위치 값을 관절 값으로 변환해서 관절 보간 프로그램을 작성하기 위해서 역기구학이론을 LabVIEW®로 프로그래밍 한다⁽⁶⁾. 따라서 역기구학 이론을 토대로 프로그

Fig. 3 inverse kinematics graphical program

Fig. 4 Joint Interpolation Block diagram

Fig. 5 $u(t)$ and velocity superposition block diagram

Fig. 6 programming of motion blending

램을 다음과 같이 Fig. 3와 같이 작성 할 수 있다^{(3),(4)}.

실제 로봇의 제어를 위하여 직선에 따른 관절 값을 역기구학을 통해 계산해 내기 위해 역기구학을 프로그래밍하고, 이를 기반으로 직선 보간 block diagram을 작성하고 역기구학 block diagram을 조합하여 Joint 보간 block diagram을 프로그래밍 한다. 또한, 다음 Fig. 5 는 매개변수 $u(t)$ 이론 식⁽¹⁾을 이용하여 programming과 각 구간별 속도 중첩⁽¹⁾을 programming 한 block diagram이다.

각각의 프로그램을 조합하여 최종적으로 모션 블랜딩 프로그램을 만든 결과가 다음 Fig. 6와 같다. 이 알고리즘의 구동 방식은 첫 번째 좌표 점과 두 번째 좌표 점을 Start Pulse로 입력하면 매개변수 VI 와 속도 중첩 VI 및 역기구학 VI 를(where, VI is LabVIEW[®] block diagram name) 통해 계산된 값이 final pulse로 출력되게 되어 이 pulse 로 인해 RS2가 지정된 좌표 값까지 블랜딩이 적용된 모션으로 작동한다. 이를 통해 6축 수직다관절 로봇과 이와 연결되어 있는 서보 드라이버를 통해 커넥션을 구성하고, LabVIEW[®]를 통해 제어를 하면 로봇의 궤적을 확인 할 수 있다.

3. 소프트웨어 연동을 통한 시뮬레이션

RS2에 적용하기에 앞서 RecurdynV7[®] 다물체 동역학 해석 프로그램 툴로 모델링을 하고 Simulation을 하였다. 이를 시행한 이유는 LabVIEW[®]로 작성한 program에 과도한 Pulse값을 주었을 시 자칫 RS2의 구동범위를 넘어선 값으로 인해 로봇의 파손을 초래할 수 도 있기 때문이다.

Fig. 7 RecurdynV7[®] simulation

Fig. 8 6-axis Analysis Plot of RS2

이러한 이유로 각 구속조건과 계산식 값을 각각의 Joint에 입력 하였고, Fig. 7, 8 는 RecurdynV7[®]의 RS2 모델링 및 구동 해석 결과 값 이다. Joint-Linear Motion Blending을 수행하는 궤적을 나타내었으며, Fig. 8 에서 보이는 바와 같이 6축의 position 또한 블랜딩 을 나타낸다. Simulation을 통해 측정 된 velocity가 평균 40mm/s 로 확인되었고, 이 각각의 값들은 RS2에 직접 적용함에 있어 구동에 전혀 문제가 되지 않는다는 신뢰도를 얻을 수 있었다.

또한, LabVIEW[®]를 이용하여 작성한 이중모션 블랜딩 프로그램을 RS2에 적용하기 전에 SolidWorks[®]의 시뮬레이션 기능을 이용하여 RS2가 작성한 이중모션 블랜딩의 경로로 정확하게 구동하는지의 여부를 판단하기 위해 SolidWorks[®]와 LabVIEW[®]를 연동하여 시뮬레이션을 실행하였다. Fig. 9는 SolidWorks[®]를 이용한 RS2의 3D 모델링 이다.

실제 RS2에는 각축의 모터를 담당하는 서보 드라이버가 있고 각 축의 모터 값이 설정되어 있기 때문에 LabVIEW[®] 프로그램을 적용하는 즉시 구동이 되지만, SolidWorks[®]로 모델링한 RS2는 각각의 모터를 직접 설정하고 설정한 모터의 값을 LabVIEW[®]의 가상 드라이버 생성 기능을 이용하여 SolidWorks[®]

Fig. 9 Using SolidWorks[®] 3-D modelling of 6-axis articulated robot

Axis	Set axis	Axis	Set axis
1		4	
2		5	
3		6	

Fig. 10 Set axes of 6-axis articulated robot

Fig. 11 Motion simulation of 6-axis articulated robot

Fig. 12 Circular - joint, Linear - Circular Blending simulation

에서 설정한 모터 값과 LabVIEW[®]의 드라이버 값이 같도록 설정해야 한다. 아래의 Fig. 10는 SolidWorks[®]에서 실제 로봇이 움직이는 각 관절 축을 설정한 모습이다.

이와 같은 설정 후 본 논문에서 작성한 프로그램을 로드 하여 드라이버를 연결하고 시뮬레이션을 수행한다.

아래의 Fig. 11는 앞서 직선, 원호, 관절 보간식을 LabVIEW[®]를 통해 Joint - Linear Blending 식으로 프로그래밍 하고, SolidWorks[®]에 적용한 후 RS2의 End-effector 궤적과 일반 PTP 모션의 궤적의 결과이다.

Circular - joint, Linear - Circular Blending 또한 Fig. 12 같이 시뮬레이션을 실행하여 궤적을 확인할 수 있었다.

이와 같은 시뮬레이션의 결과를 통해 LabVIEW[®]로 작성한 프로그램을 실제 RS2에 적용할 때 발생할 수 있는 문제점을 미리 파악하고 대처할 수 있다. 여기서 발생할 수 있는 문제점이란, 각 축의 움직일 수 있는 작은 제한되어 있는데 좌표 값을 지나치게 많이 주게 되면 이 움직일 수 있는 각을 넘어서게 되어 RS2가 파손될 수 있다는 점이다.

따라서 LabVIEW[®]와 SolidWorks[®] 시뮬레이션의 연동기능을 사용해서 각 관절의 간섭체크 및 좌표 값의 한계점을 미리 알 수 있는 결과까지 얻을 수 있다.

4. 프로그램 적용 및 결과 측정

실제 RS2에 이중모션 블렌딩을 구현할 때 사실상 수직 다관절 로봇은 6축 모두가 회전 관절로써 Circular - Joint, Circular - Linear blending 모션이 보는 각도에 따라서 다를 뿐 비슷하여 2-D 상에선 구분하기가 힘들다.

Fig. 13 vibration measurement of RS2

Fig. 14 Result of vibration measurement for PTP

Fig. 15 Result of vibration measurement for the Joint-Linear Blending

Table 1 Vibration accelerations of Motion

Function Type	g[RMS]	g[RMS]	g[RMS]	Time
Spectrum	in x-coord	in y-coord	in z- coord	(s)
Blending	0.0025	0.0052	0.0021	3
PTP	0.2596	0.7526	0.02329	5

하지만 Joint - Linear blending의 경우 PTP와 Blending의 구분이 3가지 모션 중에서 가장 명확하게 구분될 수 있고 확인하게 두 가지의 모션이 차이가 나기 때문에 이중 모션 블렌딩의 대표적인 Joint - Linear Blending을 RS2에서 구현하고 이를 시뮬레이션과 같은 모션을 보이는지 확인 하였다. 이와 같은 결과 값을 바탕으로 RS2에 실제로 적용시켜 본 Motion Blending을 성능평가 하기 위해 PTP 방식과 진동 및 동작 시간을 비교해 보았다. 여기서 vibration 측정에 사용된 장비는 Zonic[®]사의 Medallion 으로 측정 하였다.

Fig. 16 Hybrid Motion Blending (Joint - Linear Blending)

Table. 1 에서 보듯이 Blending Motion이 PTP 방식 의 진동 값 보다 약 1/10 정도로 줄어들었다. 또한 동작시간을 보면 Blending의 경우는 약 3초이고 PTP 방식의 경우 약 6초로 절반 정도의 시간을 단축 시켰다.

아래의 사진은 Joint-Linear Blending을 구현한 로봇의 동작 모습이다. 그 결과 아래와 같이 경유점에서 블렌딩이 발생하였으며 Joint - Linear Blending이 구현됨을 확인 할 수 있었다.

5. 결론

이 논문은 3축 SCARA 로봇에 적용시킨 매개변수를 이용한 hybrid motion blending 이론을 직접 설계 하고 제작한 6-axis articulated manipulator인 RS2에 적용시켰다. 이 이론 이 RS2 에서 구현시키기 위해 LabVIEW로 motion programming하고, 다물체 동적 해석 program인 Recurdyn V7 및 Solidworks 의 사전 동작 시뮬레이션 기능을 통해 로봇의 구동가능 구간을 검증하여 RS2를 제어함에 있어 신뢰성을 갖추어 Motion 생성

을 검증하였다. 또한 기존의 PTP 방식보다 뛰어나다는 것을 검증하기 위해 Zonic의 Medallion 장비로 vibration을 측정하여 기존의 PTP방식보다 진동이 1/10 이하로 우수하고 동작 시간 역시 절반 정도로 단축 시켰다는 것을 확인 할 수 있었다.

후 기

이 연구에 참여한 연구자의 일부는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음.

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0013902).

References

- (1) Ju, J. H., 2008, *A Study on error Analysis and Hybrid Motion Control of LabVIEW® -based 3-axis SCARA Robot*, A Thesis of a Master, School of Mechatronics, Changwon National University, Republic of Korea.
- (2) Kim, D. Y., 2004, *Development of a new weaving Algorithm using a Bezier Spline and A study on the Realization of CP(Continuous Path) Motion with Jerk Continuity*, A Thesis of a Master, School of Mechatronics, Changwon National University.
- (3) Spong, M., and Vidyasagar, M., 1989, *Robot Dynamics and Control*, John Wiley and Sons., New York.
- (4) Chung, Y. O., Ryu, J. C., and Park, C. K., 1991, "A new method for Solving the Inverse Kinematics for 6 D.O.F. Manipulator," *Korean Automatic Control Conference*, Vol. 1, No. 2, pp. 557~562.
- (5) Fu, K. S. Gonzalez, R. C. and Lee, C. S. G., 1987, *Robotics*, McGraw-Hill, New York.
- (6) National Instruments Corporation. 2002, *Motion control Fundamentals course manual*.