

## 쿼터니언의 Spherical Cubic Interpolation 을 이용한 상하이송 로봇의 조향 방법에 관한 연구

정원지(창원대), 김기정\*(창원대 기계설계공학과), 김성현(창원대 기계설계공학과),  
김효곤(창원대 기계설계공학과), 서영교(두산메카텍(주)), 이기상(두산메카텍(주))

### Steering Control Algorithm of an Up and Down Motion Robot Using a Quaternion with Spherical Cubic Interpolation

W. J. Chung(Mechatronics Dept., CNU), K. J. Kim(Mech. De. & Manu. Dept., CNU),  
S. H. Kim(Mech. De. & Manu. Dept., CNU), H. G. Kim(Mech. De. & Manu. Dept., CNU)  
Y. K. Seo(DOOSAN Mecatec Co.), K. S. Lee(DOOSAN Mecatec Co.)

#### ABSTRACT

This paper presents the steering control algorithm of an up and down motion robot using a quaternion. The up and down motion robot is to be moved on an irregular floor that can inevitably result in the errors of both position and orientation. Especially the orientation error should be compensated every work in order to adjust the misaligned values of current orientation to those commanded values. In this paper, we propose a new steering control algorithm between the two values by using a quaternion with spherical cubic interpolation. The proposed algorithm is shown to be effective in terms of vibration when compared to a conventional simple compensation without interpolation, by using MATLAB® and VisualNastran4D®

**Key Words** : Steering Control, Lcomotion Robot, Position and Orientation, Quaternion, Spherical Cubic Interpolation

#### 1. 서론

최근 산업 현장에서 자동화를 위한 많은 노력을 기울이고 있다. 과거 노동력 중심의 시장에서 중국 등의 추격으로 인해 더 이상 노동력 중심의 산업으로 경쟁력을 가질 수 없다. 산업 현장에서 자동화의 중심은 산업용 로봇이라 할 수 있다. 지금까지는 라인 내에 로봇을 설치해서 고정시켜 놓고 일련의 작업을 로봇이 수행하였다. 그러나 지금까지 개발되었던 산업용 로봇을 이용하여 작업을 수행하는 데는 사용 범위가 한계가 있어 일부 산업계에서는 특화된 산업용 로봇의 개발에 노력을 기울이고 있다. 그 중에서도 자율 주행을 지니며 상하 이송할 수 있는 로봇 상부에 산업용 로봇을 탑재하면 종래의 산업용 로봇보다 더 넓은 Workspace 를 가질 수 있다. 상하이송 로봇은 볼스크류 4 개를 이용하여

상하이송 운동을 얻을 수 있고 4 개의 바퀴를 이용하여 주행할 수 있다. 상하이송 로봇은 상부에 산업용 로봇을 탑재하기 때문에 무게중심이 높아 주행에 있어서 로봇 전체가 넘어질 수 있는 상황이 발생할 수 있다. 그렇기 때문에 부드러운 조향 방법이 요구된다. 조향 방법에 대한 연구는 오래 전부터 많이 연구되어 왔다. 바퀴의 구조나 개수에 따른 조향 방법에 많은 차이가 있다. 이번 연구에 적용된 모델은 조향이 가능하면서 구동할 수 있는 구조이다. 본 연구는 로봇에 적용되는 조향 방법에 관한 연구로 로봇의 어떤 좌표상의 위치했을 때 로봇의 방위를 구하고 현재 방위에서 다음 방위로 이동할 때 쿼터니언의 Spherical Cubic Interpolation 을 이용하여 보간하는 방법에 관한 것이다.

## 2. 상하이승 로봇의 좌표계

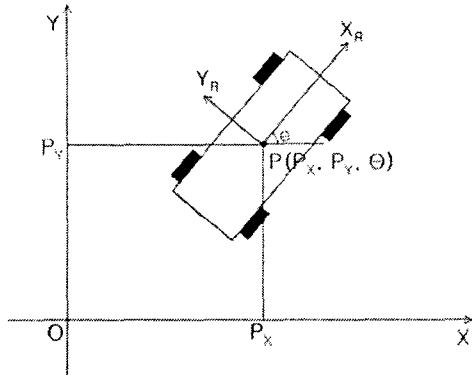


Fig. 2 Coordinate System

Fig. 2 는 상하이승 로봇의 좌표계를 나타내고 있다. 상하이승 로봇의 중심점  $P$  는 기준 좌표계를 중심으로  $P_x, P_y, \theta$  로 표현할 수 있다. 이때 점  $P$  의 좌표계를 행렬로 표시하면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = (P_x, P_y, \theta)^T \quad (1)$$

그리고 상하이승 로봇의 방위는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

## 3. 문제의 정의

Fig. 3 은 상하이승 로봇의 바퀴부분을 표시하고 있다. 상하이승 로봇의 조향과 이동을 담당하는 바퀴는 4 개로 구성되어 있다. 두 개의 이동 바퀴의 속도는 서보 모터의 속도와 ( $\omega_i, i=1,2$ ) 동일하고 조향 바퀴의 각도는  $\Omega$  로 정의 한다.

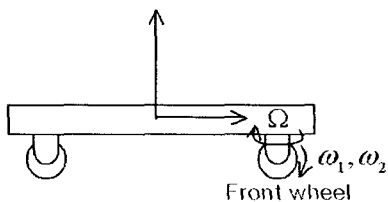


Fig. 3 Moving Part

Fig. 4 는 로봇의 궤적을 나타내고 있다. 처음의 시작점을  $P_1(P_{x1}, P_{y1}, \theta_1)$  으로 정의하고, 다음 단계의 점을  $P_2(P_{x2}, P_{y2}, \theta_2)$  라 정의한다.  $P_1(P_{x1}, P_{y1}, \theta_1), P_2(P_{x2}, P_{y2}, \theta_2)$  가 주어졌을 때,  $\overline{P_1A}$  과  $\overline{AP_2}$  의 연장선의 교점을  $A$  라 한다. 그리고  $\overline{AP_2}$  의 연장선상의 점  $P'_2(P'_{x2}, P'_{y2}, \theta'_2)$  라 했을 때,  $\overline{P_1A}$  와  $\overline{AP_2}$  의 길이는 동일하다. 남은 궤적  $\overline{P_1P'_2}$  는 조향없이 이동할 수 있다. 이 때,  $\overline{P_1A}$  와  $\overline{AP_2}$  가 이루는 각도는 식(3)과 같다.

$$\angle P_1AP'_2 = \pi - (\theta_2 - \theta_1) \quad (3)$$

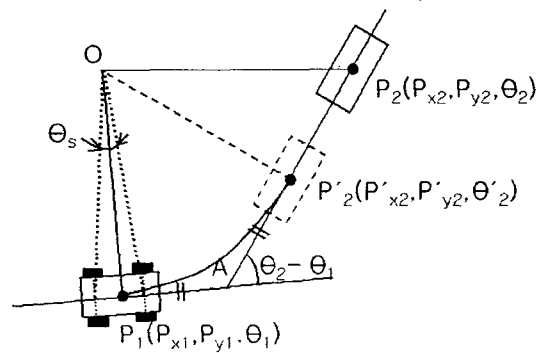


Fig. 4 Trajectory of Up and Down Motion Robot

Fig. 4 에서의  $\angle P_1OP'_2$  와 반경  $\overline{OP_1}$  는 식 (4), (5)와 같다.

$$\angle P_1OP'_2 = \theta_2 - \theta_1 \quad (4)$$

$$\overline{OP_1} = \frac{\overline{P_1A}}{\tan \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}} = \frac{\overline{P'_2A}}{\tan \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}} \quad (5)$$

궤적의 길이  $S$  는 식(6)과 같다.

$$S = \overline{OP_1} \times \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{360^\circ} \quad (6)$$

상하이송 로봇의 속도와 바퀴의 속도, 총 이동 시간은 다음과 같다.

$$t = \frac{S}{v} \quad (7)$$

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (8)$$

#### 4. INTERPOLATION

일반적으로 로봇에 있어서 방위 보간은 오일러 각도를 이용한다. 그러나 오일러 각도의 경우 세부 각도에 관해서는 부정확하다. 그러나 쿼터니언을 이용하여 방위 보간을 할 경우 이런 단점을 보완할 수 있다. 쿼터니언의 기본 식은 식(9)와 같다.

$$\mathbf{q} = w + (xi + yj + zk) \quad (9)$$

여기서,  $x, y, z, w$  는 실수이고,  $xi, yj, zk$  는 복소수이다. 그리고 계산방법은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} i^2 = j^2 = k^2 &= -1, \\ ij = k, jk = i, ki = j, ijk &= -1 \end{aligned}$$

이때, 쿼터니언과 일반 로봇의 방위를 나타내는 Orientation Matrix 와의 상호 관계는 식(10)과 같다.

$$\begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x \\ n_y & s_y & a_y \\ n_z & s_z & a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-2y^2-2z^2 & 2xy-2wz & 2xz+2wy \\ 2xy+2wz & 1-2x^2-2z^2 & 2yz-2wx \\ 2xz-2wy & 2yz+2wx & 1-2x^2-2y^2 \end{bmatrix} \\ = \mathbf{q}(w, (x, y, z)) \quad (10)$$

여기서,

$$w = \frac{\sqrt{n_x + o_y + a_z + 1}}{2}, \\ x = \frac{s_z - a_y}{4w}, y = \frac{a_x - n_z}{4w}, z = \frac{n_y - s_x}{4w}$$

앞서 설명한 문제에 따른 쿼터니언을 표현하면, 식(11)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\mathbf{q} = \frac{\sqrt{2 \cos \theta + 2}}{2} + \frac{\sin \theta}{\sqrt{2 \cos \theta + 2}} \mathbf{k} \quad (11)$$

시작점을 나타내는 쿼터니언을  $\mathbf{q}_s$ , 끝점을 나타내는 쿼터니언을  $\mathbf{q}_e$  라 하면 Spherical Cubic Interpolation 방법의 개념은 Fig. 6 과 같다..

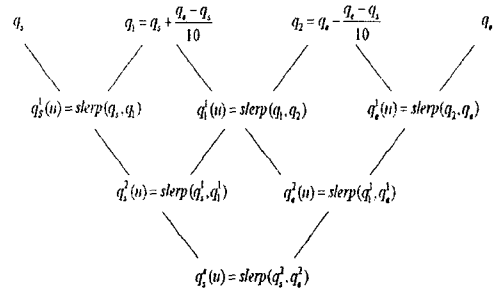


Fig. 6 Spherical Cubic Interpolation

여기서,  $\text{slerp}(\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2)$  는 spherical linear interpolation 이고 식(12)와 같다.

$$\text{slerp}(\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2) = \frac{\sin((1-u)\Omega)}{\sin \Omega} \mathbf{q}_1 + \frac{\sin(u\Omega)}{\sin \Omega} \mathbf{q}_2 \quad (12)$$

$u$  의 범위는 0 과 1 사이의 시간에 대한 비율이다.

식(12)의 결과 값을  $\mathbf{q}_s$  와  $\mathbf{q}_e$  의 spherical cubic interpolation 방법에 대입 한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_s^e(u) &= \text{slerp}(\mathbf{q}_s^2, \mathbf{q}_e^2) \\ &= \frac{\sin((1-u)\Omega)}{\sin \Omega} \mathbf{q}_s^2 + \frac{\sin(u\Omega)}{\sin \Omega} \mathbf{q}_e^2 \end{aligned} \quad (13)$$

식(13)에서  $\Omega$  는 조향각으로  $\mathbf{q}_s^2$  와  $\mathbf{q}_e^2$  에 대한 각도는 식(14)와 같다.

$$\Omega = \cos^{-1}(\mathbf{q}_s^2 \cdot \mathbf{q}_e^2) \quad (14)$$

#### 5. SIMULATION

Fig. 7 은 ( $\theta_1 = 0^\circ$ ) 와 ( $\theta_2 = 90^\circ$ )의 조향각을 MATLAB® 을 통해 계산한 결과이다. 그리고 이 때의 캐적은 VisualNastran4D®을 통해 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 8 과 같다.

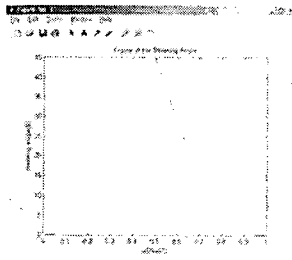


Fig. 7 Steering Angle

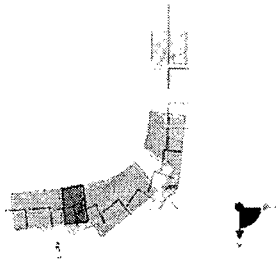


Fig. 8 Panoramic View of Steering Control

이 논문을 통해 제안한 조향 방법의 실효성을 검증하기 위해 진동 변위를 시뮬레이션을 통해 수행하고, Simple Steering 각도와 비교 데이터는 Fig. 11 과 같다.

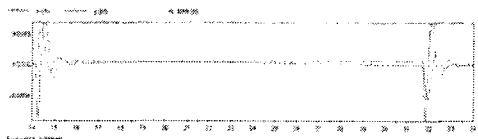


Fig. 9 Vibration Displacement of Simple Steering Control

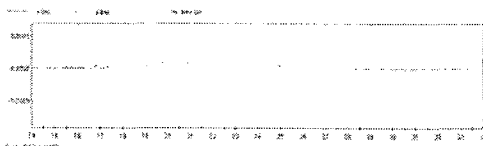


Fig. 10 Vibration Displacement of Proposed Steering Control

	Simple Steering Control	Proposed Steering Control
rms (Displacement)	0.0915 mm	0.0539 mm (41.4% reduced)
Peak (Displacement)	0.9870 mm	0.225 mm (72.2% reduced)

Fig. 11 Comparison of Proposed Steering Control with Simple Steering Control

## 6. 결론

본 연구를 통해 상하 이송로봇에 적용되는 조향 방법에 관한 연구를 쿼터니언의 Spherical Cubic Interpolation 을 이용하여 접근하였다. MATLAB® 과 VisualNastran4D® 을 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 제시한 방법의 실효성은 Simple Steering 방법과 비교 했을 때, 40% 이상 성능이 향상된 것을 알 수 있다. 제시한 조향 방법은 좁은 장소에서 조향에 관한 것으로 다양한 접근이 가능하다.

## 후기

본 연구는 창원대학교 공작기계기술연구소, 산업자원부 지방기술혁신사업(RT104-01-03) 지원으로 수행되었습니다. 본 과제는 산업자원부의 출연금등으로 수행한 지역전략산업 석·박사 연구인력 양성사업의 연구결과입니다.

## 참고문헌

1. Muir, P. F. and Neuman, C. P. Kinematic Modeling of Wheeled Mobile Robot,? Journal of Robotic System, Vol. 4, No. 2, pp.281-340, 1987.
2. Shin, D. H. and Park, K.H., Generalized Kinematics Modeling of Wheeled Mobile Robots,? JKSP, Vol. 19, No. 5, pp.118-125, 2002.
3. Chung, Y.O. and Park, C.K., Kinematic Modeling for Position Feedback Control of an 2-D.O.F Wheeled Mobile Robot,? JKSEE, Vol. 33, No. 4, pp.27-39, 1996.
4. Fu, K. S. and Gonzalez, R. C., Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence,? McGRAW-HILL, New York, 1987.
5. David Eberly, Quaternion Algebra and Calculus,? Magic Software, Inc., 1999.
6. Shha, S. K. and Angeles, J., Kinematics and Dynamics of Three-Wheeled 2-Dof AGV,? Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.1572-1577, 1989.
7. Zhao, Y. and Spencer, L. B., Kinematic, Dynamics and Control of Wheeled Mobile Robots,? Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 1130-1135, 1991.