

인간형 4자유도 로봇팔 제어 시스템

황승리¹ · 박재우² · 나상민² · 현웅근¹

¹호남대학교 · ²(주)디투리소스

A Control System of 4 d.o.f Human Arm type Redundant Robot

Sung-Ri Hwang¹ · Jae-woo Park² · Sang-min Na² · Woong-keun Hyun¹

¹Honam University · ²Dtworesource Co.

E-mail : wkhyn@honam.ac.kr

요 약

서비스 로봇에서는 산업용 로봇에서 많이 사용하던 로봇 머니플레이터 대신에 여유자유도형 인간형 로봇 팔이 사용되어야 한다. 여유자유도 인간형 로봇팔은 산업용 로봇 팔에 비하여 자유도 수가 많아서 특이점 및 장애물 회피에 더욱 우수한 성능을 가지고 있어 정해지지 않은 복잡한 환경에서 동작해야 하는 서비스 로봇에 적합하다. 여유 자유도 로봇 팔의 제어 문제는 구동 알고리즘에서 역기구학 및 자코비언을 사용하기 때문에 복잡한 연산 및 그 계산량이 많다는 것이 문제가 된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 수치해석적인 역기구학 해법 및 가중 의사역 행렬 제어 알고리즘을 제안하며 이를 시스템으로 구현하여 실험으로 효용성을 입증하였다.

ABSTRACT

This paper describes a robot control system and control method of a human arm type redundant manipulator. The control of a redundant manipulator suffer from computational complexity and singularity problem because of numerical inverse kinematics. To deal with such problems, analytical methods for a redundant robot arm have been researched to enhance the performance of inverse kinematics. In this research, we propose a numerical control method and weighted pseudo inverse kinematics algorithm. Using this algorithm, it is possible to generate a trajectory passing through the singular points and intuitively move the elbow without regard to the end-effector pose. Performance of the proposed algorithm was verified by various simulations. It is shown that the trajectory planning and using this algorithm provides correct results near the singular points and can utilize redundancy intuitively. We proved this system's validity through field test.

키워드

인간형 팔, 로봇, 제어시스템, 여유자유도 (human arm, robot, control system, redundant)

1. 서 론

서비스 로봇에서는 산업용 로봇에서 많이 사용하던 로봇 머니플레이터 대신에 여유자유도형 인간형 로봇 팔이 사용되어야 한다. 여유자유도 인간형 로봇팔은 산업용 로봇 팔에 비하여 자유도 수가 많아서 특이점 및 장애물 회피에 더욱 우수한 성능을 가지고 있어 정해지지 않은 복잡한 환경에서 동작해야 하는 서비스 로봇에 적합하다. 인체 팔을 기구학적 해석으로 팔 4자유도 손목 3자유도로 총 7자유도 구조로 표현할 수 있다. 7자유도 구조를 사용하므로 인체의 신체구조 비슷한 자유도로 인

간이 할 수 있는 다양한 모션들을 따라할 수 있고 다양한 위치에 있는 물건을 잡을 수 있다. 인간 공학적 설계에서는 서비스 로봇의 특성상 인간과 유사한 구조를 가지게 함으로써 감성적으로 조작자가 좀 더 쉽게 다가갈 수 있게 하였다. 기구학적 구성 및 인간공학적 설계 외에 로봇 팔이 인간 팔과 유사하게 구동하기 위해 로봇 팔의 각 관절이 인간 팔과 유사하게 구동되어야 한다. 본 논문에서는 4자유도로 인간팔을 표방한 여유자유도 로봇팔을 설계 제작하여 그 제어방법을 연구하였다. 여유 자유도 로봇 팔의 제어 문제는 구동 알고리즘에서 역기구학 및 자코비언을 사용하기 때문에 복잡한 연산 및 그

계산량이 많다는 것이 문제가 된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 수치해석적인 역기구학 해법 및 가중 의사역 행렬 제어 알고리즘을 제안하였다.

II. 여유자유도 로봇 기구학 분석 및 제어알고리즘

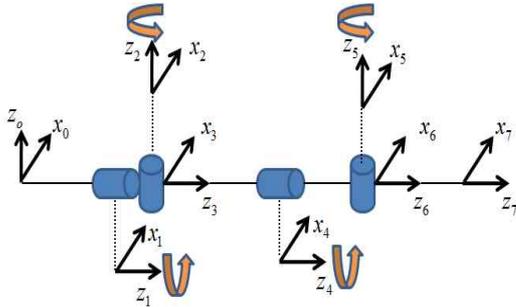


그림 1 kinematics 분석을 위한 로봇팔 리셋포지션

그림 1은 본연구에서 제안한 로봇팔의 관절구조 및 리셋포지션 좌표계 모습이다. 로봇의 중심부를 기준좌표계로 정하여 Denavit-Hartenberg(D-H)를 통하여 기구학적 분석을 하였다.

End-effector의 위치와 방향은 변환행렬을 통해 나타낼 수 있다. 변환 행렬을 구하기 위한 머니폴레이터의 기구학 해석은 Denavit-Hartenberg(D-H) 표시법으로 표현될 수 있다. D-H를 사용하면 연속적인 관절과 링크를 표현할 수 있고 기준좌표계에서 End-Effector까지 표현할 수 있으며 jacobian 계산 및 힘 해석 같은 연산결과에서 사용될 수 있다. 이를 이용하여 유도된 jacobian 행렬 수식을 J라고 할 때 Jacobian을 이용한 제어식은 다음과 같다.

$$\dot{\theta} = J^+ \dot{x} + (I - J^+ J) \cdot F(\theta)$$

$$F(\theta) = K1 * \rho(-\text{dot}(\sqrt{JJ^+}) / \rho\theta + K2 * (Q3 - PI/2) - K3 * (Q4 - PI/2)$$

$$J^+ = J^T (JJ^T)^{-1}, II = 4 \times 4$$

identity_matrix

(1)

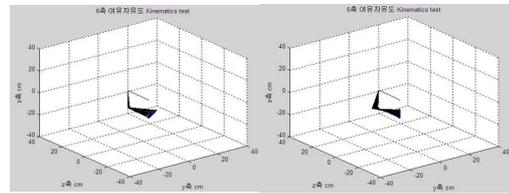
$$J^+ = W^{-1} J^T (JW^{-1} J^T)^{-1}$$

(2)

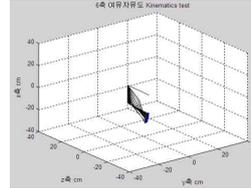
여기서 J^+ 는 jacobian pseudo inverse matrix이다. pseudo inverse jacobian 제어기법을 이용한 제어 방법의 모의실험결과는 그림 11에서 보였다. 그림에서 알 수 있듯이 여유자유도 로봇팔의 제어의 경우 3차원공간에서 4자유도로 움직이므로 1개의 여유자유도가 발생한 쉘인 바, 원하는 관절의 운동량을 적게 해주고 싶을 경우 가중치를 크게 하여 움직임을 둔화시킬 수 있다.

III. 설계된 여유자유도 로봇팔에 대한 제어방법 검증

편미분에 대한 수치해석적인 방법을 적용하여 End-effector가 매순간 x, y, z축 방향 혹은 x-y, x-y-z방향으로 0.35cm씩 이동한 결과를 보인다. 그림 2-3.4는 x축 방향, 2-3.5와 2-3.6은 각각 y축, z축 방향으로 직선 운동한 결과를 보인다. 그림 2-3.5는 y축 방향으로 이동하다가 링크 2, 3번이 직선으로 펴지는 현상이 발생하는 바, 순간적으로 고투르가 요구되는 특이자세(singular posture)가 나타났다. 이는 (7)식의 K3에 적용되는 performance index 제어가 원활한 역할을 하지 못한 결과이다. 그림 2-3.9는 운동 중 링크의 운동방향이 바뀌는 바 실제 실험 시 물리적으로 일어나지 말아야 할 자세가 생성되었다. 제어 결과를 보아서 (7)식의 제어 방법은 불완전하며 다른 제어 추가적인 연구가 요구된다.



(a) dz=0.0, dx=0.35, dy=0.0 (b) dz=0.0 dx=0.245, dy=0.245;



(c) dz = -0.245; dx = -0.245; dy = -0.245

그림 2 선단(end effector)의 속도 명령에 의한 자코비언 제어 결과

본 논문에서 설계한 동작시연용 인간형 로봇팔 기구부 4자유도 구조이다. 로봇팔은 64kgfcm 토크의 RX-64모터를 사용하여 4축으로 구성하였고 팔꿈치와 손목 및 그리퍼 부분은 28kgfcm 토크의 RX-28모터로 3축으로 구성하였다. 그림 3에서는 실제 로봇팔 제어에 적용한 연속동작 결과를 보인다.



(a)

(b)



그림 3 4축 여유자유도 암의 연속동작 실험 모습

IV. 결론

여유자유도 인간형 로봇팔은 산업용 로봇 팔에 비하여 자유도 수가 많아서 특이점 및 장애물 회피에 더욱 우수한 성능을 가지고 있어 정해지지 않은 복잡한 환경에서 동작해야 하는 서비스 로봇에 적합하다. 본 논문에서는 4자유도로 인간팔을 표방한 여유자유도 로봇팔을 설계 제작하여 그 제어방법을 연구하였다. 여유 자유도 로봇 팔의 제어 문제는 구동 알고리즘에서 역기구학 및 자코비언을 사용하기 때문에 복잡한 연산 및 그 계산량이 많다는 것이 문제가 된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 수치해석적인 역기구학 해법 및 가중 의사역 행렬 제어 알고리즘을 제안하였으며 모의 실험 및 실제 실험으로 그 효용성을 입증하였다.

References

- [1] Tsuneo Yoshikawa, "Foundation of Robotics," MIT press, pp.133-135, 1990.
- [2] Klein,C.A., and Huang,C.S., 1983,"Review of Pseudoinverse Control for Use with Kinematically Redundant Manipulators," IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, No.13 pp.245-250.
- [3] Shamir, T. and Tomdin, Y., 1988, "Repeatability of Redundant Manipulators: Mathematical Soution of the Problem," IEEE Transactions on Automatics Contril, Vol. 33, No.11, pp. 1004 - 1009.
- [4] Patel, R. V., Shadpey.F,"Control of Redundant Robot Manipulators Theory And Experiments," Springer Verlag, 2005.