

오프셋이 있는 여자유도 로봇의 새로운 역기구학 The new Inverse Kinematics of the Redundant Robot with Offset

*조현진¹, 지용관², 박장현³

*H. J. Cho¹, *Y. K. Ji(ID@email.com)², J. H. Park³

¹ 한양대학교 대학원 자동차공학과, ² 한양대학교 대학원 기계설계학과, ³ 한양대학교 기계공학부

Key words : Numerical Methods, newton method , steepest descent method, Inverse Kinematics

1. 서론

현대 사업 사회의 여러 분야는 인간이 하는 일보다 더 많은 작업이 빠른 시간내에 정확하게 수행되기를 요구한다. 또한 여유 자유도가 없는 로봇의 한계 때문에 여자유도를 가진 로봇의 사용 요구가 증가 하고 있다. 이러한 요구를 만족 함과 동시에 기존의 직렬형 로봇의 성능에 한계에 새로운 형태의 로봇의 필요성이 대두된다. 본 논문에서 다루고 있는 로봇은 여자유도의 장점과 직렬형 매니플레이터 로봇의 성능 한계를 개선한 오프셋이 있는 직렬형 로봇을 사용하였다. 이 로봇은 같은 중량의 직렬형 로봇에 비해 Pay load 가 크며 넓은 Work Space 를 가지고 협소한 공간에서 저장이 용의 하계 하기위해서 오프셋이 존재하는 형태로 구성하였다. 본 논문에서 사용하는 로봇은 위와 같은 장점이 존재하지만 로봇을 사용하기 위해 꼭 풀어야만 하는 역기구학의 풀이가 복잡하다는 단점을 가지고 있다.

역기구학의 해를 구하는 방법[1]은 크게 폐형식(closed form) 해와 수치 해석(numerical analysis)적 방법 두가지로 분류된다. 폐형식 해를 구하는 방법[2]은 일반적으로 기하학적 방법과 대수적 방법을 많이 사용하고 수치해적 방법으로는 이분법과 Newton-Raphson 기법을 사용한다. 간단한 구조의 경우 폐형식의 근을 구하는 것이 가능하나 복잡한 형태의 로봇에서는 불가능하다. 또한 여자유도의 역기구학 문제에서는 자코비안(Jacobian)의 의사역행렬(pseudo inverse)을 이용[3]하는 방법이 있지만 의사역행렬방법의 경우 이론적으로 어려울 뿐아니라 복잡한 계산과정이 존재한다. 이러한 이유로 복잡한 여자유도 로봇의 경우 폐형식의 근이 아닌 수치 해석적인 방법을 역기구학 풀이법에 도입하게 되었다. 그 사례로 Angeles[4]는 폐형식 해를 구하기 어려운 6 자유도 로봇에 대하여 다차원 Newton-Raphson 방법을 사용하였다. 하지만 이 경우 계산과정이 복잡하며 많다는 단점이 있다. 위와 같은 이유로 본논문에서는 오프셋이 있는 로봇에 대한 역기구학의 풀이 법을 대수적 방법과 두가지의 수치해적 방법을 조합하여 역기구학을 해결하는 방법을 제시하였다.

2. 로봇 하드웨어 구성

본 논문에서 언급한 오프셋이 있는 7 축 로봇은 Fig. 1 과 같은 형태를 가지고 있으며 기존의 7 축 직렬 로봇과는 다르게 두번째와 네번째의 Joint 가 오프셋이 되어있는 형태임을 알 수 있다.

3. 역기구학

역기구학의 풀이에 앞서 정기구학의 풀이법에 관한 내용을 설명하고 역기구학의 풀이법을 설명한다. 역기구학의 풀이법의 경우 서론에서 언급한 것과 마찬가지로 대수적 방법과 수치적 방법을 조합하여 역기구학을 해결한다.

3.1 정기구학 풀이 (Forward Kinematics)

정기구학의 경우 Denavit-Hartenberg(1955)의 규약에 따라 각각의 Joint 에 좌표계를 설정하고 설정된 좌표계를 따라서 변환메트릭스에 의해 End-effector 의 좌표와 방향을 알아 내는 방법으로 찾아 낸다. 본 논문의 로봇 형태의 경우 오프셋이 존재하므로 Denavit-Harrtenberg 의 규약에

의해 표기 할 수 없는 조인트가 생성됨에 따라 링크 상에 위치한 적절한 부분에 대해서 가상으로 조인트 역할을 할 수 있도록 하는 방법을 사용하였다.

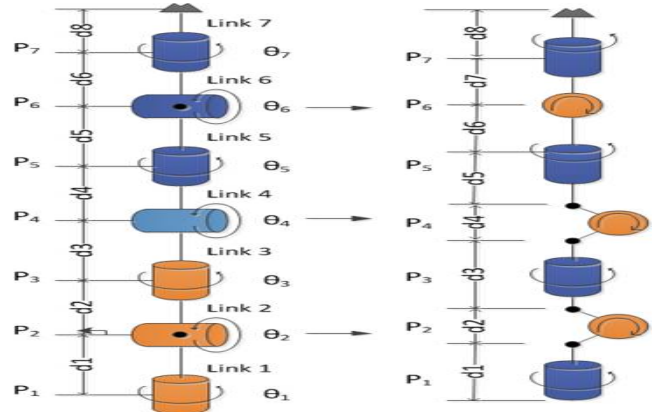


Fig. 1 Robot Shape

3.2 역기구학 풀이 (Inverse Kinematics)

Fig.1 에서와 같이 본논문에서 상용하는 로봇의 경우 마지막 세 조인트의 축이 한점에서 만나는 Wrist point 가 존재함을 확인 할 수 있다. 이러한 이유로 Pieper[5] 등이 사용한 방향에 관련된 부분과 위치에 관련된 부분으로 나누어 역기구학 풀이를 진행한다.

또한 일반적으로 여자유도의 장점은 장애물을 회피할 수 있다는 점인데 이러한 장애물의 회피 방법에 대한 내용도 함께 서술하게 된다.

3.2.1 $\theta_1 \sim \theta_4$ 까지의 풀이법

위치에 관련된 풀이 법의 경우 수치해석적인 풀이법을 적용한다. 일반적인 로봇 역기구학의 수치해석적인 방법은 제약조건을 바탕으로 선택된 하나의 수치해적 방법을 이용하는 것이다. 하지만 이러한 하나의 수치해적방법으로 최종 해를 구하는 것은 상당히 비효율 적으로 시간과 비용을 많이 소비하게 된다. 수치 해석방법에 있어서 초기값의 선택이 결과에 큰 영향을 미치며 대부분의 수치해적 법에서 좋은 초기 조건은 믿을 만한 결과를 빠른 시간에 수렴시키는 결과를 얻는다. 비선형 연립 방정식의 해를 구함에 있어서 초기 조건을 찾아주는 수치해적 방법과 실제근을 찾아주는 수치 해석 방법을 병행해서 사용하는 것이 바람직하다는 것은 많이 알려진 이론이다.[6]

이러한 이유로 본 논문에서는 로봇의 처음 형태를 초기 초기조건으로 한 상태에서 steepest-descent method 를 수행하여 local minimum 근처까지 가는 값을 얻는다.

Local minimum 근처의 값을 다시 newton method 방법에 실행시켜 우리가 원하는 값을 구하게 된다.

Table 1 은 세가지 방법을 이용하여 근을 찾을때 근의 신뢰성과 계산횟수에 대한 결과이다. 초기 조건 $P(0)=(0.001,0.001,0.001)$ 로 선정하였으며 근으로 판명되는 수렴 조건은 $P(n+1)-P(n)<0.0001$ 이 될때까지 프로그램이 수행되도록 하였다.

Table 1 의 결과를 보듯이 newton 방법의 경우 빠르게 수렴

하지만 결과값이 우리가 원하는 값을 갖지 못하며 이것은 초기값의 문제라고 볼수 있다. Steepest descent 방법의 경우 수렴 함을 알 수 있지만 계산횟수가 많아짐을 확인 할 수 있다. 반면에 두가지의 경우를 함께 사용하게 되는 경우는 짧은 시간에 수렴하게 되며 동시에 만족할 만한 결과값을 얻음을 알 수있다.

Table 1 Result of numerical method

| | newton | steepest | combination | |
|-----------|---------|----------|-------------|---------|
| iteration | 19 | 241 | 3 | 6 |
| | | | steep | newton |
| Theta1 | 40.2390 | 40.2390 | 40.2390 | 40.2390 |
| Theta2 | 38.5437 | 28.9725 | 35.1433 | 28.9725 |
| Theta3 | 180 | 0 | 0.0564 | 0 |
| Theta4 | -9.1275 | 29.2473 | 16.2275 | 29.2473 |

여자유도 로봇의 해 선택시 고려할 사항은 수많은 해중 어느 해를 선택할 것이냐 이다. 이것은 어떤 목적 함수를 가지고 그 목적 함수가 최소 혹은 최대가 되는 지점을 찾는 것으로 표현할 수 있으며 본 논문에서의 목적 함수는 steepest descent method 를 구하기 위해서 새로운 함수로 정의하는 3.1 이 최소가 되는 지점의 값을 선택하게된다.

$$g(\theta_2, \theta_3, \theta_4) = f_1(x(\theta_2, \theta_3, \theta_4) - W_x)^2 + f_2(y(\theta_2, \theta_3, \theta_4) - W_y)^2 + f_3(z(\theta_2, \theta_3, \theta_4) - W_z)^2 \quad (3.1)$$

첫번째 Joint 각의 경우는 Wrist Point 지점에서 xy 평면으로 투영시킨 점과 x 축 이 이루는 각으로 정의한다.

3.1 을 풀게되면 다음과 같은 장점이 존재 한다. 첫번째는 Joint 1 부터 Joint4 그리고 Wrist point 까지 하나의 평면 상에 존재 하게 되므로 문제의 해석이나 로봇의 형태에 대한 이해가 용이 하게 된다. 다른 하나의 장점은 여러개의 local minimum 중 초기치의 입력값에 가장 가까운 local minimum 으로 수렴하기 때문에 각 Joint 의 변화량을 최소로 할 수 있다.

3.2.2 $\theta_5 \sim \theta_7$ 까지의 풀이법
 로봇의 오리엔테이션으로 pieper 의 해 방식을 이용하여 세계의 Joint 각을 구할 수 있다.

4. 장애물 회피

여자유도 로봇의 가장 큰 장점은 일반적으로 많은 해들이 존재하여 장애물을 회피 할 수 있다는 것이다. 앞서 구한 역기구학의 구조물은 항상 Wrist point 와 원점을 있는 평면 상에 모든 link 와 Joint 가 존재하므로 그 평면상에 장애물이 있지 않는한은 역기구학의 풀이 법에 의존하게 된다. 하지만 만약 장애물이 평면 상에 존재한다면 장애물과 Wrist Point 를 xy 평면에 정사영시켜 생긴 상태에서 Fig. 2

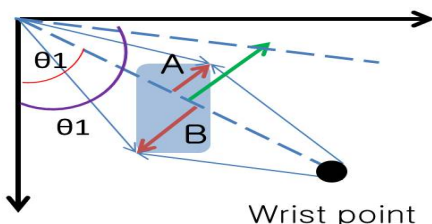


Fig. 2 Avoidance obstacle

와 같이 장애물과 멀어지는 벡터를 선정하여 그벡터의 끝을 연결하는 직선과 x 축과의 각을 첫번째 Joint 의 각으로 생각하고 수치 해석적으로 나머지 세계의 각을 계산한다.

5. 결과

Fig.3 과 Table 2 에 결과를 제시 하였다. Forward Kinematics 의 값은 Inverse Kinematics 의 값이 믿을 만한가에 대한 신뢰성을 확인 하기 위하여 비교해 놓은 것이며 결과적으로 믿을 만한 결과를 얻었음을 확인 할수있다.

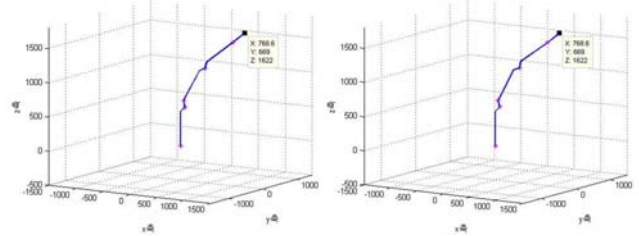


Fig. 3 (left fig) - all joint angles are 30 degrees forward kinematics results (right fig) - Solving inverse kinematics results

Table 2 Result of Forward and Inverse Kinematics

| Forward Kinematics | | | Inverse Kinematics | | |
|--------------------|-----------|----------|--------------------|-----------|----------|
| Theta1 = 30 | End Point | | Theta1 = 40.23 | End Point | |
| Theta2 = 30 | X | 781.112 | Theta2 = 28.97 | X | 781.1120 |
| Theta3 = 30 | | | Theta3 = 0 | | |
| Theta4 = 30 | Y | 571.398 | Theta4 = 29.24 | Y | 571.398 |
| Theta5 = 30 | | | Theta5 = 42.41 | | |
| Theta6 = 30 | Z | 1664.901 | Theta6 = 26.16 | Z | 1664.901 |
| Theta7 = 30 | | | Theta7 = 39.58 | | |

6. 결론

본 연구에서는 오프셋이 있는 7 축 직렬 로봇의 새로운 형태를 제안 함과 동시에 역기구학 풀이의 어려움을 해결 하기 위해 수치해석적인 방법으로 로봇 팔 역기구학의 해를 구하였다. 두가지의 수치해석 방법을 함께 사용하여 보다 빠르고 정확한 값을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 본 연구에서 장애물이 로봇의 자세를 취하는 평면에 존재 할 경우 그 장애물을 회피하는 방법까지 제시하였다..

향우 본 연구에서 장애물 회피에 따른 Joint1 의 새로운 각에 대하여 해의 존재 여부를 판별 할 필요성이 있으며 최종적으로는 이 모든 것들을 바탕으로 로봇의 협조제어가 이루어져야만 진정한 여자유도 로봇의 활용도가 증대될것이다.

7. 후기

본 논문의 지식경제부(산자부)의 우수제조기술 연구센터 산업 지원으로 수행되었음. (과제번호:2008-000-0000-8054)

참고문헌

1. Y. O. Chung, J. C. Ryu, And C. K. Park "A new Method for Solving the Inverse kinematics for 6 D.O.F Manipulator" . Korean Automaric Control Conference. vol. 1 of 2. Pp. 557-562
2. R. P. Paul . B. Shimano. And G. E. Mayer." Kinematic Control Equation for Simple Manipulators" IEEE Trans. On Systems Man and Cybernetics. vol SMC-11. no 6. Pp 449-455.
3. Klein. C.A and Huang. C,S. 1983 "Review of Pseudo inverse Control for use with Kinematically Redundant Manipultors" IEEE Trans. On Systems. Man and Cyb. No 13. pp 245-250
4. J. Angeles " on the numerical solution of the Inverse Kinematics Problem" The International J. of Robotics Research. vol 4. no. 2. pp. 21-37
5. D.L.Pieper, and B. Roth. " The Kinematics of Manipulators under Computer Control." Proc.2nd Int. Conf, Theory Math. And Mechanisms. vol . 2 .pp. 159-169. 1969
6. J. Douglas Faires and Richard Burden " Numerical Methods". Thomson Books/cole pp 416-440