

통계적 방법을 이용한 매니퓰레이터 경로 평가법의 제안

Proposal of the manipulator trajectory evaluation method using statistical method

*김현국¹, #한정수², 황순용², 신규식²

*H. G. Kim¹, #C. S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)², S. W. Hwang¹, K. S. Shin²

¹한양대학교 메카트로닉스공학과, ²한양대학교 기계공학과

Key words : Performance Criteria, Inertia Matching Ellipsoid, Trajectory Evaluation, Statistical Method

1. 서론

로봇의 조작성을 평가하는 지표로는 정적인 상태에서 각 관절의 각속도와 End-effector (EEF) 의 선속도 및 각속도의 관계를 표현한 Manipulability [1] 가 있고, 방향을 고려하여 분석한 Manipulability Ellipsoid 가 있다. 이 후 로봇의 성능을 평가하는 지표들로 기구학적 및 동적 조작성, 등방성, 에너지 효율 등 다양한 평가 지표들이 제안되었고 사용되는 중이다.

본 연구는 기존의 한 점에서만 평가하는 한계점을 극복하며 주어진 작업 경로를 평가하는 방법에 대해 제안하고 검증한다. 관절 토크와 EEF 힘 간의 전달 효율을 표현한 Inertia Matching Ellipsoid (IME) [2] 를 변형하여 사용하였다. 또한 통계적 방법을 통한 경로 평가를 시도하였고 시뮬레이션을 통해 검증하고 결과를 분석하였다.

2. 통계적 경로 평가법의 제안

특정 작업을 수행하기 위해 여자유도 로봇 EEF 의 운동 경로는 여러 가지로 제안 될 수 있다. 본 연구에서는 통계적 방법의 적용을 통해 전체 경로에 대한 평가가 이루어 지도록 하는 평가 방법을 제안한다.

시뮬레이션을 위해 평가 지표는 관절 토크와 EEF 힘 사이의 전달 효율을 나타내는 Inertia Matching Index (IMI) 와 조건수를 혼합하여 사용하였다. IMI 는 임의의 EEF 위치에서 모든 방향으로의 토크-힘 전달 효율을 고려한 값으로 IME 의 부피와

비례하는 값이다. 다음 식에서 Q 행렬을 특이값 분해하여 구할 수 있다.

$$\tau = Q(q)(F_e - F_{bias}) \quad (1)$$

$$w = \sigma_1^{-1} \cdot \sigma_2^{-1} \cdots \sigma_m^{-1} \quad (2)$$

값이 클수록 토크-힘 전달 효율이 좋음을 의미하지만 전달 효율의 크기와 IME 의 등방성을 모두 고려하기 위해 다음과 같은 식을 제안한다.

$$w/Cond(Q) = (\sigma_1^{-1} \cdot \sigma_2^{-1} \cdots \sigma_m^{-1}) / (\sigma_1 / \sigma_m) \quad (3)$$

위 식은 New Manipulability [3] 로 제안된 기구학적 성능지표의 표현법을 참고하였다. Ellipsoid 의 크기와 등방성을 동시에 고려한 지표로 값이 클수록 좋은 성능을 의미한다.

전체 경로의 평가 시 경로에서의 최저 값이 클수록 좋은 상태인 것을 의미한다. 또한 전체 경로에서 평가 값의 평균값이 클수록 전달 효율이 좋고 그 등방성이 좋아짐을 의미하며 표준 편차가 작을수록 평균값에 대한 분포가 작아져 안정하다는 것을 알 수 있다.

이 조건들을 조합하여 다음과 같은 식을 만들 수 있다.

$$(\min(val_{path}) \cdot avg(val_{path})) / STDEV(val_{path}) \quad (4)$$

val_{path} 는 경로 평가를 위해 사용하는 평가 지표의 값이며 만약 전체 경로에서 20 개를 샘플링 한다면 val_{path} 의 개수는 20 개가 된다.

전체 평가 값은 클수록 좋다는 의미이며 위 식을 기준으로 다른 7 자유도 로봇 팔에 대해 같은 운동 경로를 평가, 비교한다

3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 고정된 EEF의 운동 경로를 대상으로 경로 평가 값을 비교하고 그 때의 토크와 힘의 비, 작용 토크, 작용 힘 등을 비교하고 분석하는 방식으로 진행하였다.

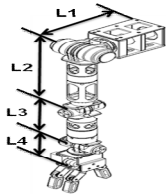


Fig. 1 Prototype robot manipulator

위 그림은 시뮬레이션 대상으로 한 로봇 팔의 형상이며 두 종류의 로봇 팔은 L1~L4의 길이와 질량 분포만 다르다.

주어진 운동 경로는 Y-Z 평면 상의 네 점을 차례대로 지나는 경로가 되며 시간은 총 4 초로 같다. 아래 표는 각 로봇 팔의 평가 값의 비교이다.

Table 1 Comparison of measured criteria

	Trajectory measure
Type O	0.0055
Type A	0.278

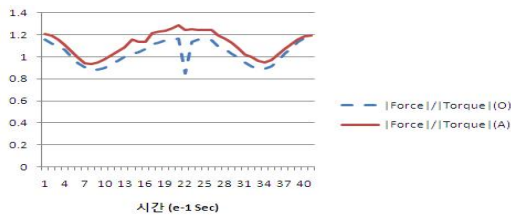


Fig. 2 The ratio of force-torque; Two type : O, A

위 그림은 시간에 따른 힘과 토크의 비를 나타낸 것이다. O와 A 두 종류의 로봇 팔이 같은 경로를 같은 시간 동안 운동한 결과 로봇 A가 전체 경로에서 힘과 토크의 비가 더 큰 것을 확인할 수 있다.

운동 시간 동안의 작용 힘을 분석해 보면 다음과 같다.

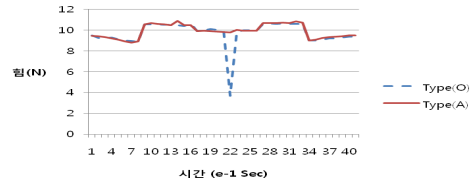


Fig. 3 A graph of the force

4. 결론

본 연구에서는 통계적 방법을 이용한 경로 평가법을 제안하고 토크-힘 전달 효율에 관련한 지표를 사용하여 검증하였다.

시뮬레이션 결과로부터 같은 운동 경로를 수행함에 있어 거의 비슷한 힘을 내면서 더 작은 토크를 이용하는 것을 확인할 수 있었다. 이 지표 및 평가 방법을 이용하여 정해진 작업 경로 수행 시 더 좋은 자세를 찾을 수 있다. 또한 여러 경로 후보 중에서 수행 작업에 필요한 물리적 의미를 갖는 평가 지표를 이용하여 작업에 적합한 경로를 결정하는데도 큰 역할을 할 것으로 기대한다.

후기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 고기능 로봇 매니퓰레이션 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

(NIPA-2010-(C7000-1001-0002))

참고문헌

1. Tsuneo Yoshikawa, "Manipulability of Robotic Mechanisms," The International Journal of Robotics Research, 4, 3-9, 1985.
2. Ryo Kurazume, Tsutomu Hasegawa, "A New Index of Serial-Link Manipulator Performance Combining Dynamic Manipulability and Manipulating Force Ellipsoids," IEEE Transactions on Robotics, 22, 1022-1028, 2006.
3. 김점구, 홍금식, 박종우, 김종원, "병렬형 동작기계의 조작성 해석:기구부 최적설계에 적용," 한국정밀공학회지, 16, 213-223, 1999.