

모듈형 로봇의 조작성 향상을 위한 최적 링크 조합

Optimal Link Combination of Modular robot for Maximum Manipulability

*¹임현식¹, ²황순용², 이희민¹, 이영수¹, #한정수³

¹H. S. Lim¹, S. W. Hwang¹, H. D. Lee¹, Y. S. Lee¹, #C.S.Han(cshan@hanyang.ac.kr)²

¹한양대학교 기계공학과, ²한양대학교 메카트로닉스공학과, ³한양대학교 기계정보경영공학부

Key words : Modular robot, Optimal link combination, Taguchi method, Manipulability

1. 서론

최근 산업, 군사, 의료 등 다양한 분야에서 자동화 또는 개인 서비스를 목적으로 사람의 팔 형태를 갖는 매니플레이터의 활용이 증가하고 있다. 이러한 매니플레이터들은 수행하고자 하는 작업에 대하여 최적화된 기구학적 구조를 가지도록 설계되어 있으며, 정해진 기구학적 구조에 의하여 매니플레이터의 동작성능이 제한된다. 따라서 수행하고자 하는 작업이 변경될 시 매니플레이터의 성능이 저하되는 특징을 가진다. 이러한 단점을 해결하려는 방안 중 하나로 최근 링크 및 관절을 모듈화하여 매니플레이터를 구성하는 방법들이 제안되고 있으며[5], 모듈화를 통하여 관절 배치 및 링크 길이 조절을 쉽게 변경할 수 있게 됨으로써 매니플레이터의 기구학적 성능을 변화시킬 수 있다. 예를 들어, 공장 자동화 관점에서 생산 공정 또는 생산제품이 변경되었을 때 기존의 정형화된 매니플레이터로는 동작성능을 만족시키기 위한 유연한 대처가 어렵다. 이때, 매니플레이터의 모듈을 교환 가능 하다면, 변경된 작업에 대하여 기구학적으로 유연한 시스템을 재조합할 수 있을 것이다. 또한, 매니플레이터가 고장이 났을 경우, 고장 난 모듈만 교체함으로써 손쉽게 유지보수가 가능하다.

본 논문은 특정 작업에 대하여 매니플레이터의 관절 및 링크 모듈의 최적 조합을 위한 방법에 대한 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 매니플레이터의 성능인자로 동작성능(Manipulability)[1]를 선정하였으며, 다구찌 기법(Taguchi Method)[6][7]을 적용하여 매니플레이터를 구성하는 모듈 조합을 찾는다.

2. 기구학 해석

본 연구에서는 7자유도 매니플레이터에 대하여 모듈화를 통한 기구학적 조합에 대하여 다룬다. 7자유도를 가지는 매니플레이터의 경우 일반적으로 어깨 3 DOF(Degree of Freedom), 팔꿈치 1 DOF, 손목 3 DOF로 구성되어 있으며 Fig. 1의 그림과 같이 관절이 배치 된다. 기구학적 해석에서는 이러한 관절배치를 제외한 링크 길이 별 모듈의 조합에 의한 기구학적 해석을 진행할 것이다. 기구학적 해석에 사용할 링크 인자는 Denavit-Hartenberg 표기법을 사용하여 Table 1의 DH-Table에 나타나 있다. 이를 바탕으로 변환행렬(Transformation Matrix)을 이용하여 정기구학을 해석하였다. 다음으로는 기하학적인 방법[2][3]을 통한 역기구학 해석을 위해 Fig. 2에서와 같이 베이스부터 어깨까지의 벡터 \vec{BS} , 어깨부터 팔꿈치까지의 벡터 \vec{SE} , 팔꿈치부터 손목까지의 벡터 \vec{EW} , 손목부터 엔드 이펙터까지의 벡터 \vec{WE} 와 같이 총 4개의 벡터를 구한 후, $\theta_2, \theta_4, \theta_6$ 는 그림에서 나타난 것과 같이 각을 낀 두 벡터 사이의 내적으로 구하였으며, $\theta_1, \theta_3, \theta_5, \theta_7$ 은 정기구학의 변환행렬을 이용하여 구할 수 있었다.

모듈형 로봇의 자코비안 행렬(Jacobian Matrix)을 구하기 위해 G-H Formulation[4]을 사용하였으며, 이 자코비안 행렬을 바탕으로 아래의 식(1)을 이용하여 매니플레이터의 동작성을 계산하였다.

$$W = \sqrt{\det(JJ^T)} \quad (1)$$

식(1)에 의해 계산된 동작성은 매니플레이터가 어떤 위치에 도달할 수 있는 능력 혹은 특정 위치에서 위치를 변화시킬 수 있는 능력을 의미하며, 크기가 클수록 더 좋은 작업 수행 능력을 갖는다.

Table 1 D-H (Denavit-Hartenberg) Table

Link No.	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	$\pi/2$	0	L1	θ_1
2	$-\pi/2$	0	0	θ_2
3	$\pi/2$	0	L2	θ_3
4	$-\pi/2$	0	0	θ_4
5	$\pi/2$	0	L3	θ_5
6	$-\pi/2$	0	0	θ_6
7	$\pi/2$	0	L4	θ_7

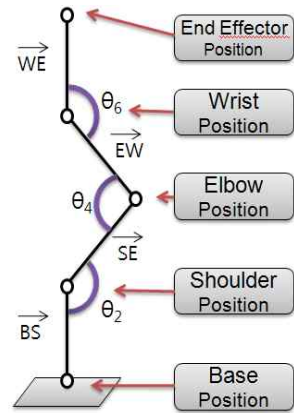
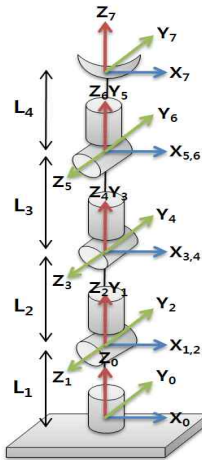


Fig. 1 Robot Configuration

Fig. 2 Inverse kinematics

3. 다구찌 기법의 적용

본 장에서는 Fig. 3에서와 같이 Y-Z 평면에 타원을 그리는 작업을 기반으로 다구찌 기법을 적용하여 최적 링크 조합 문제를 정의하고 해석하고자 한다. 타원을 그리는 작업 수행 시 장애물 회피 등의 여자유도(Redundant)를 필요로 하지 않는 작업이기 때문에 여자유도를 위한 어깨에서 손목으로의 벡터를 기준 축으로 팔꿈치 위치의 회전 각도는 임의의 값으로 고정한 상태이며 손목의 방위(Orientation)는 Y-Z 평면에 수직인 상태로 고정하였다. 다구찌 기법을 적용하려면, 먼저 매니플레이터의 작업 수행 능력의 기준이 되는 평가특성을 선정하게 되는데, 본 연구에서는 매니플레이터가 타원을 그리는 작업을 할 때 지나가는 36개의 목표점에서의 동작성의 평균을 평가특성으로 설정하였다. 다음은 평가특성에 영향을 미치는 설계 인자(Design parameter)를 선정하게 되는데 보통은 각 설계 인자가 가질 수 있는 값의 범위를 분할하여 여러 개의 수준(Level)으로 정의하지만 제한된 링크 모듈의 종류 때문에 값을 일정하게 분할하는 과정은 생각하는 대신 각 수준을 매니플레이터를 구성할 수 있는 링크 모듈의 종류로 대신하였다. 설계 인자들의 수준은 4개의 수준으로 정의하며, 이에 해당하는 값은 Table 2에 나타나 있다. 다음으로는 설계 인자와 수준의 수를 고려하여 직교 배열표(Orthogonal array)를 선정하고, 직교 배열표에 배치한 경우에 대해서만 동작성 해석을 수행하도록 한다. 본 연구에서 사용된 4수준, 4요인 직교 배열표와 각 배치 별 동작성 해석 결과는 Table 3에 나타내었으며 이를 통해 각 설계 인자에 대한 평가특성의 민감도와 영향도를 평가하여 최적의 링크 조합을 구할 수 있다.

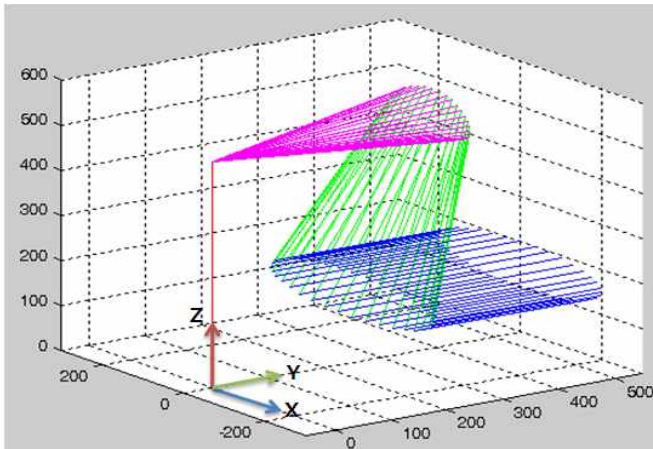


Fig. 3 Robot Trajectory Based on the Task

Table 2 Level of design parameter

Design parameter	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)
Level 1	200	200	200	200
Level 2	300	300	300	300
Level 3	400	400	400	400
Level 4	500	500	500	500

Table 3 Result of Analysis according to orthogonal array

No.	Design Variable				Result
	L1	L2	L3	L4	Manipulability
1	1	1	1	1	11801000
2	1	2	2	2	24558000
3	1	3	3	3	16953000
4	1	4	4	4	16839000
5	2	1	2	3	14552000
6	2	2	1	4	9917700
7	2	3	4	1	72177000
8	2	4	3	2	45836000
9	3	1	3	4	20825000
10	3	2	4	3	31555000
11	3	3	1	2	30700000
12	3	4	2	1	72674000
13	4	1	4	2	46593000
14	4	2	3	1	82518000
15	4	3	2	4	42192000
16	4	4	1	3	12408000

4. 최적 링크비의 선정 및 해석

동작성이 클수록 작업 수행 능력이 우수한 매니플레이터이기 때문에 망대 특성을 적용하였으며, 이에 해당하는 식은 다음과 같다.

$$SN = -10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (2)$$

SN은 목적이 산출물의 결과에 반영 정도와 잡음의 크기가 산출물 결과에 나쁜 영향을 미친 정도를 나타내는 비율로서 신호 대 잡음비(Signal to noise ratio) 라고 불린다. 여기서 y_i 는 평가특성의 값을 뜻하며 n 은 평가특성의 개수를 뜻한다. 식(2)를 이용하여 구한 각 제어 인자들의 신호 대 잡음비의 평균은 Fig. 4에 나타나 있으며, 그래프의 기울기가 급할수록 기여도가 큰 설계 인자이기 때문에 L4가 동작성에 가장 큰 영향을 미치는 설계 인자이다. 또한, 신호 대 잡음비가 높을수록 매니플레이터의 높은 동작성을 얻을 수 있기 때문에 설계 인자 L1은 4수준, L2는 3수준, L3는 4수준, L4는 1수준을 선택하였을 때

주어진 작업을 수행하는 데 있어 가장 큰 동작성을 갖는 링크의 조합이 된다. 다구찌 기법에 따라 결정된 최적 링크 조합을 적용하여 동작성에 대한 해석을 수행하였으며, 타원을 그리는 작업에 대한 동작성의 평균값은 129850000으로 나타났다.

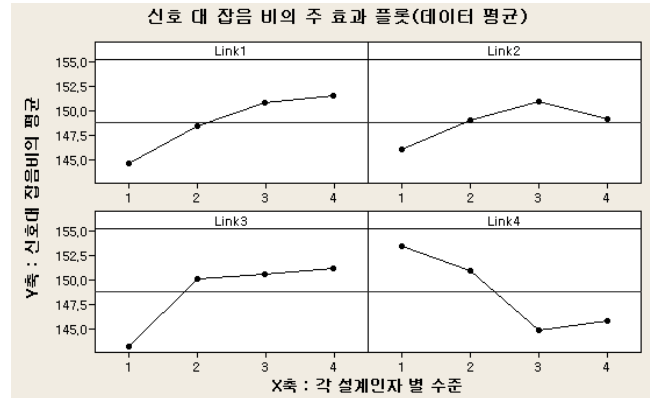


Fig. 4 S/N ratio value response for design variables

5. 결론

본 연구에서는 특정 작업을 기반으로 최대의 동작성을 가지는 모듈형 매니플레이터의 링크 조합을 얻기 위하여, 다구찌 기법을 사용한 링크 최적 조합 방법을 제시하였다.

작업을 위한 계획을 생성한 후 이 계획이 지나는 위치에 대한 동작성의 평균값을 평가 특성으로 사용하고, 모듈형 매니플레이터의 각 모듈의 길이를 설계 인자로 사용하였다. 다구찌 기법을 16회의 해석만으로 통하여 최대의 동작성을 가지는 링크 조합을 얻을 수 있었고 L1인자가 동작성에 가장 영향을 많이 주는 인자임을 알 수 있었다.

모듈형 로봇의 링크 조합을 위해 본 연구에서 수행한 방법을 적용하면 필요 작업이 바뀔 때마다 쉽게 동작성이 좋은 최적 링크 조합을 찾을 수 있으며, 이를 적용하여 높은 동작성을 가진 모듈형 매니플레이터로 더 효율적으로 작업을 진행할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 (한양대학교 고기능 로봇 매니플레이션 연구센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

참고문헌

1. Tsuneo Yoshikawa, "Manipulability of Robotic Mechanisms" The international journal of Robotics Research, 3-4, 1985.
2. Tolani,D., Goswami,T., and Badler,I., "Real-Time Inverse Kinematics Techniques for Anthropomorphic Limbs," Graphical Models, Vol.62, 353-388, 2000
3. Nakagawara,S., Tadakuma,R., Kajimoto,H., Kawakami,N., and Tachi,S. "A Method to Solve Inverse Kinematics of Redundant Slave Arm in The Master-Slave System with Different Degrees of Freedom", ISMCR2004, 1-4, 2004.
4. B,Siciliano., L,Sciavicco., L,Villani. and G,Oriolo., "Robotics modeling, Planning and Control", Springer, 105-117, 2008.
5. G,Hirzinger., B,Brunner., K,Landzettel., N,Sporer., J,Butterfa., and Schedl., "Space Robotics-DLR's Telerobotic Concepts, Lightweight Arms and Articulated Hands", Autonomous Robots 14, 127-145, 2003.
6. 이상복, "Minitab을 이용한 다구찌 기법 활용", 이레테크, 74-109, 2006
7. 박성현, "현대실험계획법," 민영사, 631-646, 1999.