파라메트릭 기법을 사용한 로봇링크 설계변경의 일괄처리 적용연구

박태원*, 문하경**, 정일호**, 서종휘***, 김혁***, 최용원***, 최재락***

A study on Batch-processing in Performing Design-changes of Robot-links using Parametric Method

Tae Won Park, Ha Kyung Moon, Il Ho Jung,
Jong Hwi Seo, Hyuk Kim, Yong Won Choi, Jae Rak Choi

Abstract

We developed the module of the software that robot designers can perform their work faster and more easily. The parametric modeler is founded on the virtual robot design program. The virtual robot design program is the powerful software which may be used to solve various problems of robot kinematics and dynamics. The parametric modeler in the software we developed is that all the positions of joints and links are changed automatically when the designer changes one joint or one link in the robot system.

Without parametric method, robot-designers must change all the positions of connected joints and links. It might become time-consuming. However, it is very efficient for designers to use the method of batch-processing in performing design-changes of robot-links using the parametric modeler.

Key Words: Parametric modeler, Robot-design, Batch-processing, Robot-link

* 아주대학교 기계공학과
** 아주대학교 기계공학과 대학원
*** 삼성전자(주)

1. 서론

현대 산업사회에서는 제품의 성능, 제품의 개발 기간단축, 개발 및 생산비용의 절감 등이 승패를 좌우한다. 컴퓨터의 성능향상과 더불어 여러 공학 분야에서 전산응용 해석기술의 적용이 보편화 되고 있다. 즉, 실제 제품에 대한 프로토타입(proto type)의 제작과 시험없이도 컴퓨터를 이용한 신뢰성 있는 시뮬레이션 모델을 구현하여 설계에 필요한 자료를 짧은 시간에 저비용으로 확보하여 제품의 경쟁력을 크게 향상시킬 수 있다. 특히 로봇 개발에 있어서는 로봇의 임무에 맞는 기구학적 링크설계, 작업속도, 경로계획, 제어 알고리즘과 반복작업에 의한 정밀도 저하로 발생하는 오차보정 등의 많은 문제들에 직면하게 된다. 이에 대한 가장 효과적인 해결방안이 전산응용 해석기술이라 할 수 있다. 위의 문제중, 본 논문에서는 파라메트릭 기법을 이용한 로봇 링크의 기구학적 설계를 위한 효율적인 방법을 제시하였다.

파라메트릭 기법이란 기하학적인 모델의 치수를 변수로 정의해서 차후에 설계변경을 용이하게 해주는 방법을 말한다. 현재까지 이 기법을 사용하여 일반적인 CAD 모델의 변경을 적용한 연구[1-2], 로봇을 이용한 생산시스템에서 로봇들의 작업속도 및 경로 등을 일괄적으로 제어하기 위한 연구[3] 등이 이루어져왔다. 설계자들이 로봇의 링크를 설계할 때 특정 링크(Link)의 길이나 링크를 연결하는 특정 조인트(Joint)의 각도를 변경해야 하는 경우가 자주 발생한다. 이때마다 설계자가 로봇링크의 각 부분을 하나하나 변경하여 설계에 적용하는 것은 비효율적인 과정이 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 파라메트릭 기능을 사용하여 로봇의 링크 설계시, 한 링크의 길이나 조인트를 변경할 때, 다른 링크들도 자동으로 변경하여 신속하게 설계에 적용될 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

이 연구의 배경은 기존에 기구설계의 효율성을 향상시키기 위해 동역학 해석 툴로 사용되고 있는 DADS[4]나 ADAMS[5] 등의 상용 동역학 해석 소프트웨어가 있지만 이 툴을 로봇설계에 적용하기까지는 설계자의 많은 시간과 노력이 필요하다. 본 연구는 효율적인 로봇설계업무를 수행하기 위해 기 개발된 로봇설계 프로그램[6]의 주요 기능인 파라메트릭 모듈에 대한 연구이다. 로봇설계 프로그램[6]이란 로봇설계자들에게 필요한 설계 모듈을 구성하여 독자적으로 개발된 소프트웨어이다. 본 연구는 기 개발된 로봇설계 프로그램의 주요 모듈인 파라메트릭 모듈을 추가 개발했으며 그 이론과 응용방법 및 효율성을 소개하고자 한다.

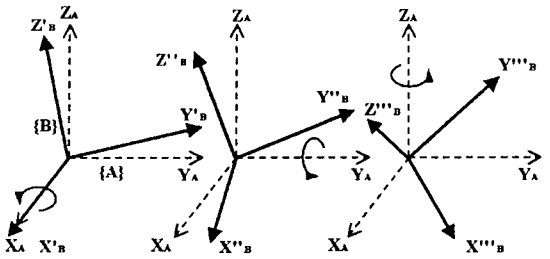
2. Parametric Method 알고리즘

2.1 로봇 기구학에서의 좌표변환[7]

2.1.1 로봇 좌표계의 위치를 계산하는 방법

로봇을 구성하는 한 링크의 위치를 정의하는 좌표계 {A}에서 다음 링크의 위치가 X, Y, Z 만큼 떨어져 있고 그 링크의 위치 좌표계 {B}가 X축으로 γ, Y축으로 β Z축으로 α의 회전량을 가진다고 할 때, 서로 연결된 두 링크의 좌표계를 위치를 결정하는 회전행렬은 식(1)의 $R_{XYZ}(\gamma, \beta, \alpha)$로 나타낼 수 있다. 좌표계 {B}의 각 축은 고정된 기준 좌표계 {A}를 기준으로 회전한다. 최초의 기준 좌표계 {A}를 기준으로 다른 좌표계 {B}의 각 축의 각도가 변경되는 방법을 고정 각도법(fixed angles)이라 한다. 본 논문에서는 고정 각도법을 사용하여 로봇 시스템의 모든 위치와 각도를 계산하였다.

<그림 1>은 좌표계 {A}를 기준으로 고정 각도법이 적용된 좌표계 {B}를 나타낸다. <그림 1>에서 좌표계가 회전되는 순서를 수식으로 나타내면 식(1)과 같다.[7-10]

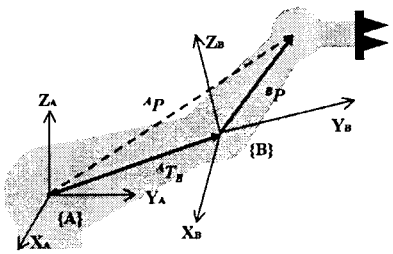


<그림 1> X-Y-Z fixed angles

$$R_{XYZ}(\gamma,\beta,\alpha)=R_Z(\alpha)R_Y(\beta)R_X(\gamma)$$
$$=\begin{pmatrix}c\alpha & -s\alpha & 0\\ s\alpha & c\alpha & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}c\beta & 0 & s\beta\\ 0 & 1 & 0\\ -s\beta & 0 & c\beta\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & c\gamma & -s\gamma\\ 0 & s\gamma & c\gamma\end{pmatrix}$$
$$=\begin{pmatrix}c\alpha c\beta & c\alpha s\beta s\gamma-s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta c\gamma+s\alpha s\gamma\\ s\alpha c\beta & s\alpha s\beta s\gamma-c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta c\gamma-c\alpha s\gamma\\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma\end{pmatrix}$$
(단, $\cos\alpha=c\alpha$, $\sin\beta=s\beta$) (1)

식(1)의 $R_{XYZ}(\gamma,\beta,\alpha)$ 3×3 회전행렬을 포함시켜 위치까지 표현된 식(2)의 4×4 행렬을 구성할 수 있다. 이렇게 구성된 행렬을 변환행렬(transformation matrix)이라고 하며 본 논문에서는 변환행렬을 T라고 표시하겠다.

$$T=\begin{pmatrix}c\alpha c\beta & c\alpha s\beta s\gamma-s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta c\gamma+s\alpha s\gamma & x\\ s\alpha c\beta & s\alpha s\beta s\gamma-c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta c\gamma-c\alpha s\gamma & y\\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma & z\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix} \quad (2)$$



<그림 2> General transform of a vector in robots

식(2)의 행렬은 한 좌표와 다른 좌표에서 한 점의 위치관계를 정의할 때 사용되는 행렬이다. 변경될 링크와 조인트의 위치변환이 주요 기능인 파라메트릭 모듈에서 <그림 2>의 ${}^AP={}^A_BT{}^BP$ 와 같은 벡터 연산을 수행한다.

<그림 2>에서 벡터 ${}^AP$는 좌표계 {A}에서 좌표계 {B}까지의 변환행렬인 ${}_BT$와 좌표계 {B}에서의 벡터 ${}^BP$의 곱과 같다. <그림 2>의 벡터 연산을 변환행렬의 곱으로 나타내면 아래의 식(3)과 같다.

${}^AP={}^A_BT{}^BP$ 의 벡터연산은 다음과 같다.

$$T=\begin{pmatrix}a_A & b_A & c_A & x_A\\ e_A & f_A & g_A & y_A\\ i_A & j_A & k_A & z_A\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}a_B & b_B & c_B & x_B\\ e_B & f_B & g_B & y_B\\ i_B & j_B & k_B & z_B\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$
$$=\begin{pmatrix}a_Aa_B+b_Ae_B+c_Ai_B & \cdots & \cdots & x\\ \cdots & \cdots & \cdots & y\\ \cdots & \cdots & \cdots & z\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix} \quad (3)$$

식(3)의 계산된 4×4 행렬에서 4열을 구성하는 x, y, z 값이 조인트 및 링크의 위치이다.

2.1.2 로봇 좌표계의 회전각을 계산하는 방법[8]

연결된 두 링크 사이의 위치 좌표계 회전각도를 계산하기 위해서 식(2)의 행렬을 아래와 같이 단순한 형태의 행렬식으로 표시하였다.

$$T=\begin{pmatrix}r_{11} & r_{12} & r_{13} & x\\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & y\\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & z\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{pmatrix} \quad (4)$$

식(2)와 식(4)를 비교하여 α, β γ를 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.(고정 각도법)

$$r_{11}^2+r_{21}^2+r_{31}^2=1 \quad (5)$$

$$\sin\beta = -r_{31} \tag{6}$$

또한 식(2), (4)에서 다음 관계식이 성립한다.

$$\cos\alpha\cos\beta = r_{11} \tag{7}$$
$$\sin\alpha\cos\beta = r_{21} \tag{8}$$

식(7), (8)을 제곱하여 β를 계산할 수 있다.

$$\cos\beta = \pm\sqrt{r_{11}^2 + r_{21}^2} \tag{9}$$

식(6), (9)에서 β는 다음 두 경우가 존재한다.

$$\text{i)}\quad \sin\beta = -r_{31},\ \cos\beta = +\sqrt{r_{11}^2 + r_{21}^2} \tag{10}$$
$$\text{ii)}\quad \sin\beta = -r_{31},\ \cos\beta = -\sqrt{r_{11}^2 + r_{21}^2} \tag{11}$$

식(10), 식(11) 에서 β를 구하면

$$\beta = Atan2(\sin\beta,\ \cos\beta) \tag{12}$$

식 (12)로부터 계산된 β를 식(7), 식(8)에 대입하여 식(13)을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \cos\alpha = \dfrac{r_{11}}{\cos\beta} \\ \sin\alpha = \dfrac{r_{21}}{\cos\beta} \end{pmatrix} \tag{13}$$

이 식을 이용하여 α를 계산할 수 있다.

$$\alpha = Atan2(\sin\alpha,\ \cos\alpha) \tag{14}$$

γ를 구하기 위해서 식(2)와 식(4)로부터 다음 관계식을 얻을 수 있다.

$$\cos\beta\sin\gamma = r_{32} \tag{15}$$
$$\cos\beta\cos\gamma = r_{33} \tag{16}$$

식(12)에서 얻은 β를 식(15), 식(16)에 적용하여 다음 관계식을 얻는다.

$$\begin{pmatrix} \cos\gamma = \dfrac{r_{33}}{\cos\beta} \\ \sin\gamma = \dfrac{r_{32}}{\cos\beta} \end{pmatrix} \tag{17}$$

이 식을 이용하면 γ를 계산할 수 있다.

$$\gamma = Atan2(\sin\gamma,\ \cos\gamma) \tag{18}$$

이와 같은 방법으로 α, β γ를 구하였다. 식(13), 식(17)에서 분모 $\cos\beta = 0$ 인 경우 즉, $\beta = \pm 90$인 경우가 발생한다. 이를 구별하기 위해 다음을 이용한다.

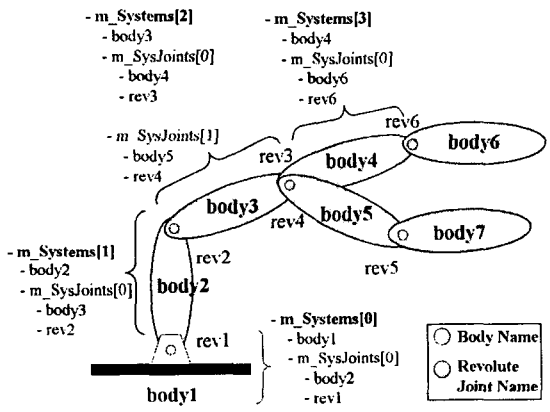
$$\text{If}\ \beta = +90,\ \alpha = 0,\ \gamma = Atan2(r_{12},\ r_{22}) \tag{19}$$
$$\text{If}\ \beta = -90,\ \alpha = 0,\ \gamma = -Atan2(r_{12},\ r_{22}) \tag{20}$$

식(19)와 식(20)에서 $\alpha = 0$(convention in cases of $\beta = \pm 90$)[8]이다. 따라서 $\beta = \pm 90$ 인 경우에는 식(19)와 식(20)에 의하여 α, β γ를 구하였다.

2.2 로봇 자료구조 다이어그램[11]

<그림 3>에서는 Parametric Modeler를 구현하기 위해 본 연구에서 개발된 자료구조와 그 자료구조가 로봇에 적용되는 방식을 다이어그램으로 나타내었다. 자료구조는 C++ 언어로 사용하여 로봇 시스템에서 링크 동작의 필요한 조인트와 링크를 나타내는 변수와 다른 링크와 연결되는 링크의 변수를 포함시켜 하나의 자료로 통합하여 구조체로 작성하였다. 이렇게 구조체를 구성함으로써 파라메트릭 기능이 수행하는데 필요한 변수를 통합처리 할 수 있는 장점을 갖게 된다. 즉, 한 링크(바디)의 길이나 한 조인트의 각도를 변경시켰을 때, 링크(바디) 또는 조인트와 연결된 모든 링크(바디)들과 조인트의 관계를 일괄적으로 정의하기 위해서이 구조체를 개발하였다.

```
struct {
        CString Name;
        struct SysJoint {
                CString RevName;
                CString Name;
        };
        std::vector<SysJoint>
m_SysJoints;
};
```



<그림 3> 파라메트릭 기능 자료구조[11]

연결된 모든 링크들과 조인트의 위치를 다시 계산하기 위해서 한 링크를 나타내는 구조체의 변수에는 그와 연결된 링크의 이름과 조인트의 이름을 저장하고 있다. 이렇게 자료구조를 구성함으로써 한 링크와 연결된 다른링크와 조인트를 관계를 정의할 수 있다. 예를들어, body2와 연결된 링크와 조인트는 각각 body3와 rev2 이다. 이것은 body2를 나타내는 m_System[1] 구조체 변수 내부에 있는 m_SysJoint[0] 에서 현재 링크와 연결된 링크인 body3의 이름과 조인트 이름인 rev2가 저장되어 있다. 또한 m_System[2] 안에 body3의 이름을 저장하고 있다. 이것은 body2와 body3가 rev2 조인트로 연결되어 있다는 것을 의미한다. 이런 방식으로 로봇 시스템을 구성하고 있는 모든 링크와 조인트의 관계를 정의하여 변경될 물리량을 신속하게 적용하여 설계에 반영할 수 있다.

2.3 조인트 각도, 링크 길이 변경 알고리즘

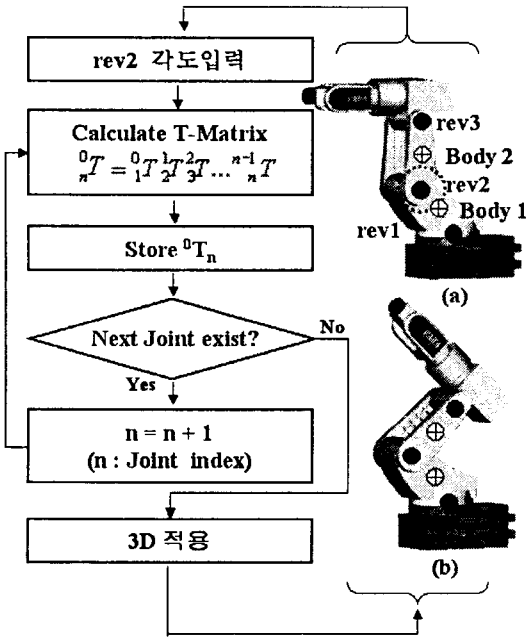
로봇 시스템에서 특정 조인트의 각도를 변경했을 때 나머지 링크와 조인트의 위치가 일괄적으로 변경되는 프로시저를 <표 1>에서 서술하였다. 이 프로시저는 구체적인 알고리즘과 코드를 작성하기 전에 파라메트릭 기능이 수행되기 위한 프로그램을 작성하는데 토대가 되는 로직이다.

<표 1> 로봇링크의 위치변환 프로시저

1. 사용자로부터 변경할 각도를 입력받는다.
2. 각도에 의해 위치변환행렬을 재구성한다. a. 로봇링크의 모든 위치에 대해 적용 b. 2.1.1절 수식으로 변환행렬 계산 c. 계산된 모든 링크의 변환행렬 저장
3. 저장된 위치로 로봇형상을 3D로 적용한다. a. 동역학 해석의 초기형상으로 변환

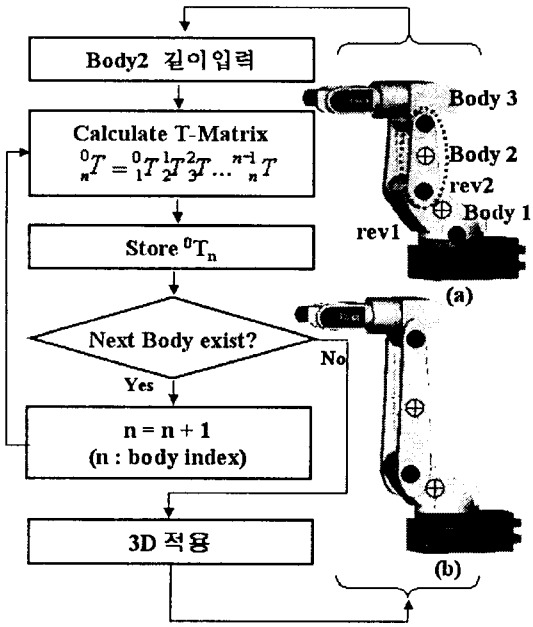
<표 1>의 프로시저의 한단계 구체화한 알고리즘을 <그림 4>에서 표현하였다. <그림 4>(a)는 로봇의 초기타입으로 먼저 설계자에게 변경할 조인트(rev2)와 각도를 입력받아 변경 적용한다. 변경할 각도에 의하여 로봇의 각 링크의 좌표가 변환행렬을 이용한 벡터 연산으로 재계산된다. 계산된 각 조인트의 위치는 3D 반영 및 Solver로 재입력을 위하여 행렬 ${}^{0}T_{n}$에 저장된다. 저장 후, Next Body가 있는

지 검사하여 존재한다면 변환행렬의 벡터연산을 반복한다. 만약 Next Body가 존재하지 않는다면 현재까지 계산되어 저장된 조인트의 위치를 3D에 반영하여 <그림 4> (b)와 같은 모양으로 해석의 초기타입이 변경된다.



<그림 4> 조인트 각도 변경과정

<그림 5>는 길이변경 과정이다. 각도 변경도 마찬가지로 <표 1>의 프로시저에 따라 그 기능을 구현하였다. <그림 5>의 (a)는 로봇의 초기타입으로 먼저 설계자에게 변경할 링크와 그 길이를 입력받는다. 입력한 길이에 의하여 변환행렬이 구성되고 로봇의 각 링크 위치 좌표가 변환행렬의 벡터 연산으로 다시 계산된다. 계산된 링크의 각 위치는 3D[12-13]로 반영 및 해석 수행시 Solver로의 재입력을 위하여 저장된다. 저장 후, Next Body가 있는지 검사하여 존재한다면 변환행렬의 벡터연산을 수행 및 각 링크의 위치계산과 계산된 위치의 저장 작업을 반복한다. 만약 Next Body 가 존재하지 않는다면 현재까지 계산된 변환행렬로부터 각 링크의 위치를 3D에 반영한다. 길이변환에 의해 파라메트릭 기법이 적용된 모델은 <그림 5>의 (b)와 같다.



<그림 5> 링크 길이 변경과정

여기서 Next Body가 존재하지 않을 때까지 계산을 반복수행중 사용되는 수식은 2.1.1장과 2.1.2장에서 설명하였다. 이렇게 기구 동역학 해석의 초기타입으로 모델을 변경할 수 있고 모델을 3D로 반영하여 설계자가 변경된 로봇을 확인할 수 있도록 개발하였다.

위에서 설명한 알고리즘으로 파라메트릭 기능을 이용하여 설계자들은 로봇의 조인트 각도나 링크 길이의 작은 변형만으로 기구학적인 위치 변형을 예측하고 나아가 로봇의 작업 반경까지 예측할 수 있다.

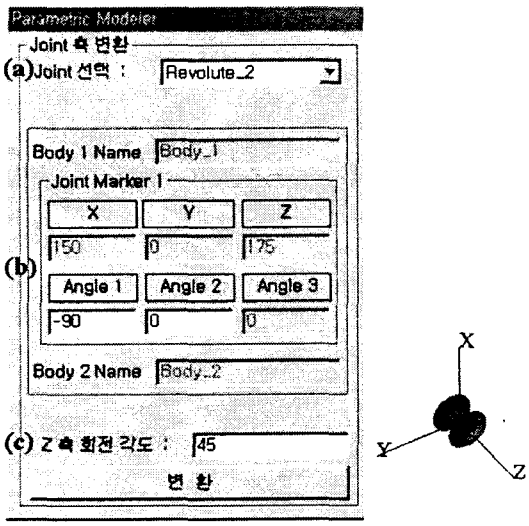
3. 설계 적용

본 장에서는 조인트 각도변환과 링크 길이 변환에 대한 사용법과 이를 적용한 예제모델

을 설명하기 위해 3.1절에서는 로봇 조인트 각도변환 기능, 3.2절에서는 로봇 링크 길이변환 기능에 대하여 설명하였다.

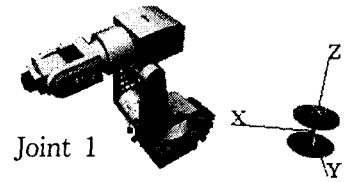
3.1 로봇 조인트 각 변환

각도 변환에 대한 파라메트릭 기법을 모델에 적용하기 위해서 <그림 6>의 모듈을 제작하였다. <그림 6>의 (a)에서는 변경시킬 조인트 이름을 선정한다. (b)에서는 선정된 조인트에 연결된 2개의 바디와 선정된 조인트의 위치와 각도를 확인할 수 있다. 여기서는 조인트 좌표의 X축, Y축 각도를 변경할 수 있다. (c)에서는 조인트의 Z축으로 회전변경을 적용할 각도를 입력한다. 본 프로그램에서는 기본적으로 회전 조인트는 Z축을 중심으로 회전하도록 개발하였다. 변경 값을 입력한 후, '변환'을 클릭하여 변경할 조인트 각도가 로봇 전체 시스템에 일괄적으로 적용하게 된다.

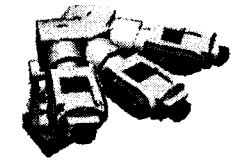


<그림 6> 조인트 각도 변경 모듈

3.1.1 조인트 변환 실제 모델에 적용



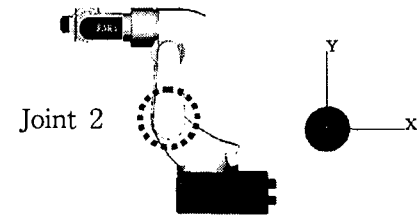
(a) Joint 1 각도 변경 전



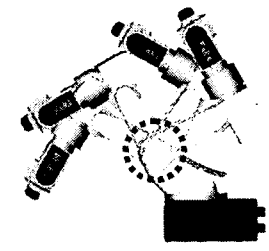
(b) Joint 1 각도 변경 후

<그림 7> Joint 1 파라메트릭 기능 적용

<그림 7>의 (a)는 Serial 타입 로봇이다. <그림 7>의 (b)는 이 로봇의 조인트 1의 각도를 파라메트릭 기능을 이용해서 Z축으로 변경한 모델이다. <그림 8>은 조인트 2를 파라메트릭 기능을 이용하여 Z축을 중심으로 여러 각도를 설계에 적용시킨 예이다.



(a) Joint 2 각도 변경 전



(b) Joint 2 각도 변경 후

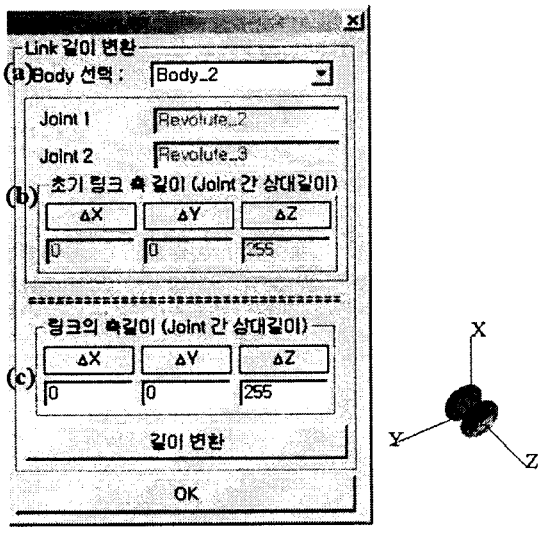
<그림 8> Joint 2 파라메트릭 기능 적용

3.2 로봇의 링크 길이 변환

링크의 길이를 변환시키는 파라메트릭 기능을 수행하기 위해서 <그림 9> 모듈을 개발하였다. <그림 9> 대화상자중 (a)에서는 변경할 바디의 이름을 선정할 수 있다. (b)는 길이 변경을 위해 선정한 바디 양끝에 위치한 2개의 조인트 이름과 선정된 바디의 X축, Y축, Z축으로의 길이를 보여준다. (c)에서는 실제 바디가 X, Y, Z축으로 변경할 길이를 입력한다. 변경할 값을 입력 후에 '길이변환'을 클릭하면 2.1.1장과 2.1.2장에서 유도된 수식을 이용하여 <그림 5> 일련의 과정을 거쳐 일괄적으로 변경된 값이 로봇 시스템에 적용된다.

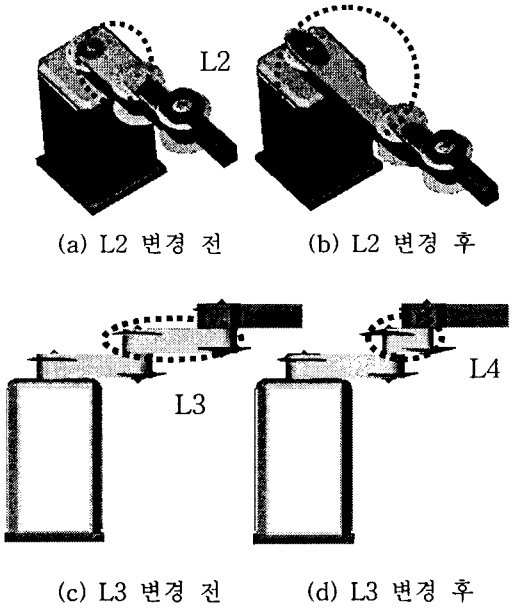
<그림 9> (b)는 현재 Z축으로 길이가 255이며 <그림 9> (c)에서 설계자에 의하여 입력된 길이에 의하여 파라메트릭 길이변환을 수행할 수 있도록 제작되었다.

추후에 이 파라메트릭 기능을 확장하여 로봇의 위치를 정의하는 DH Parameter[8] 인자를 변경하여 파라메트릭 기능을 수행 가능하게 하고 두 기능이 서로 연동되어 동작할 수 있도록 확장할 계획이다.



<그림 9> 링크 길이 변경 모듈

3.2.1 Link 길이 변환 실제 모델에 적용



(a) L2 변경 전 (b) L2 변경 후

(c) L3 변경 전 (d) L3 변경 후

<그림 10> 링크의 파라메트릭 기능 적용

<그림 10>에서는 Scara 타입의 로봇을 파라메트릭 기능을 사용하여 실제 링크 설계에 적용한 모델이다. <그림 10>의 (a)에서 L2 길이를 변경했을 때, <그림 10>의 (b)에서 나머지 L3와 L4의 위치가 일괄적으로 변경되는 것을 확인할 수 있다. <그림 10>의 (c)와 (d)는 파라메트릭 기법을 이용하여 L3 길이를 변경하여 설계에 적용하였다. 역시 L4 위치까지 자동적으로 변경되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 로봇 설계자들이 기구의 다양한 초기 형태로 신속하게 변경하여 설계에 적용 가능한 소프트웨어를 개발하였고 이를 이용하여 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

1. 설계자가 원하는 조인트의 각도를 변경할 때, 그 조인트에 연결된 모든 링크들과 링

크의 CG, 조인트 위치가 일괄적으로 변경된다.

2. 설계자가 원하는 로봇링크의 길이를 변경할 때, 그 링크에 연결된 모든 링크들과 링크의 CG, 조인트의 위치가 일괄적으로 변경된다.

3. 파라메트릭 기법을 사용해서 1, 2번의 구현된 기능으로 로봇 설계자들은 로봇 설계에서 기초설계에 해당하는 링크설계를 보다 편하고 신속하게 수행할 수 있다. 이렇게 변환된 로봇은 조인트 반력 및 토크, 링크의 거동 등을 예측의 가능하게 하는 동력학 해석의 초기타입으로 사용된다. 또한 기구의 동작을 예측하여 한정된 공간에서 안정된 동작을 수행할 수 있는 기구를 설계할 수 있다.

로봇 설계자들로부터 Customized menu를 구성하여 기 개발된 로봇설계 프로그램[6]의 주요 기능인 파라메트릭 모듈은 개발하였다. 본 연구에서 개발된 파라메트릭 모듈을 사용하여 설계자들은 링크의 설계변경을 일괄적으로 신속하게 적용하여 동역학 해석의 초기타입으로 변경한다. 이것은 로봇 기초 설계에 효율적으로 적용시킬 수 있고 나아가 로봇을 적용하는 생산 공정의 효율성을 극대화하여 시간과 설계비용을 감소시킬 수 있는 토대가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 김병인, 김광수, 1994, "단면도를 위한 3차원 파라메트릭 설계", 「대한산업공학회논문집」, pp.35-45, 제20권, 제3호

[2] 이재열, 김광수, 1996, "파라메트릭 접근방법에 의한 특징 형상을 이용한 모델링", 「한국CAD/CAM학회논문집」, pp.242-256, 제1권, 제3호

[3] 국금환, 1995, "접속기법에 의한 로봇 응용 생산시스템의 파라메트릭 시뮬레이션 모델 개발", 「한국정밀공학회지」, pp.136-148, 제12권, 제5호

[4] ADAMS/VIEW 8.0, 1994

[5] DADS Revision 8.0 Manual, 1995

[6] 박태원, "버츄얼 로봇설계 프로그램 기반 로봇설계 프로그램 개발", 「한국정밀공학회 추계학술대회 논문집」, 04S088, 2004

[7] 박민용, 로봇공학, 대영사, 1990

[8] JOHN J. CRAIG, Introduction to Robotics Mechanics and Control, Second Edition, 홍릉과학출판사, 1997

[9] Jorge Angeles, Fundamental of Robotic Mechanical Systems, Springer

[10] P.J.McKerrow, 로봇 공학 기술, 1995

[11] AL KELLEY, A Book on C, Addison-Wesley, 2001

[12] Walker, M.W and Orin, "D.E.,Efficient dynamic computer simulation of robotic mechanism," ASME J. DynSysts, 1982

[13] Wernecke, The Inventor Mentor, Addison-Wesley, 1994

주 작 성 자 : 박 태 원

논문투고일 : 2005. 01. 12

논문심사일 : 2005. 01. 20(1차), 2005. 03. 03(2차), 2005. 03. 14(3차)

심사판정일 : 2005. 03. 14

● 저자소개 ●

박태원

1977 서울대학교 공과대학 기계설계학 학사
1982 University of Iowa 기계공학 석사
1985 University of Iowa 기계공학 박사
1983.8 ~ 1990.2 Computer Aided Design Software Inc. Director
1986.1 ~ 1987.7 University of Iowa Guest lecturer
1990.3 ~ 현재 아주대학교 기계공학과 정교수
관심분야: Vehicle Dynamics, CAD/CAE

문하경

2003 아주대학교 기계공학 학사, 정보 및 컴퓨터공학 학사
2003.8 ~ 현재 아주대학교 기계공학 석사과정
관심분야: CAD/CAE 및 Programming 언어

정일호

1995 아주대학교 생산자동화공학 학사
1997 아주대학교 기계공학 석사
2002.8 - 현재 아주대학교 기계공학 박사과정
관심분야: CAD/CAE, Optimize Design for vehicles

서종휘

1998 아주대학교 생산자동화공학 학사
2000 아주대학교 기계공학 석사
2005 아주대학교 기계공학 박사
2005 ~ 현재 삼성전자 메카트로닉스 센터 책임연구원
관심분야: CAD/CAE, Optimize Design for vehicles

● 저자소개 ●

김 혁
1995 KAIST 기계공학 박사
1995 삼성종합기술원
1996 ~ 1999 삼성자동차
2000 미 포드 자동차
2001 ~ 2002 미 MSC.Software(전 MDI) Asia-Pacific Project Manager
2003 ~ 현재 삼성전자 메카트로닉스 센터 초정밀시스템디자인 랩장
관심분야: Micro/Nano Mechatronics System Design 및 해석

최용원
1993 고려대학교 기계공학 석사
1996 ~ 현재 삼성전자 메카트로닉스 센터 책임연구원
관심분야: 로보틱스, 로봇메커니즘 및 최적설계

최재락
2000 부산대학교 공과대학 기계설계학과(석사)
2000 ~ 현재 삼성전자 메카트로닉스 센터 선임연구원
관심분야: 진동/소음/dynamics 분야 시뮬레이션 및 Test