韓國精密工學會 2001年度 春季學術大會論文集 pp.255~258 KSPE 01S056

경쟁기법을 이용한 스튜어트 플랫폼의 순기구학 해석

허성준(부산대 대학원 지능기계공학과)*, 이형상(부산대 대학원 지능기계공학과)*,
한명철(부산대 기계공학과)**

The Analysis of the Forward Kinematics Using the Competitive Method in the Stewart Platform

Seong Joon Heo(Int. Mech. Eng. Dept., PNU)*, Hyung Sang Lee (Int. Mech. Eng. Dept., PNU)*, and Myung Chul Han(Mech. Eng. Dept., PNU)**

ABSTRACT

This introduces a improved method of the forward kinematics analysis, which finds the 6DOF motions and velocities from the given six cylinder lengths in the Steward platform. The numerical method(Newton Raphson Mehotd) of the forward kinematics analysises has the disadvantage of the long calculated time. To overcome this, we propose the competitive method that determine a proper initial value. Through the competitive method, we can select a proper initial value so that the calculated time is reduced. therefore we can give the property of the real time process to the forward kinematics analysis. We show the result comparing between general Newton-Raphson method and proposed one. From the result we verify the performance of the proposed method.

Key Words : Stewart platform(스튜어트 플랫폼), Forward Kinematics(순기구학), Inverse Kinematics(역기구학), Competitive Method(경쟁기법)

1. 서론

Stewart에 의해 제안된 스튜어트 플랫폼(Stewart platform)은 상판(plate)과 하판(base), 그리고 이들을 연결하는 6개의 유압실린더로 구성되어 있는 6자유도 병렬형 매니퓰레이터(parallel manipulator)이다. 이러한 병렬형의 스튜어트 플랫폼은 직렬형 매니퓰레이터에 비해 높은 구조적 강성을 가지고 부피 대 부하비가 크며 설치 공간상의 이점을 가지고 있다. 그러나 직렬형 매니퓰레이터에 비해 작업 영역이 한정되어 있고 6개의 액츄에이터(actuator)의 운동조합으로 인해 상판의 운동이 결정되므로 기구학적으로 볼 때 역기구학 문제는 쉽게 해결되나 순기구학 문제는 쉽게 해결되지 않는 단점이 있다. 이러한 스튜어트 플랫폼의 순기구학 문제를 해결하기 위해 일반적으로 다음의 세 가지 방법, 해석적 방법, 추정기를 이용하는 방법, 수치 해석적 방법이 사용되어 왔다. 그 중 본 논문에서는 수치 해석적 방법을 사용하여 순기구학을 해석하였다. Newton -Raphson 방법으로 대표되는 수치 해석적 방법은 6자유도 변위로부터 실린더 길이를 구하는 간단한 역기구학 식을 근거로 목적함수를 만들어 그 목적함수의 해를 구하는 방법으로 아주 단순한 알고리즘으로 해를 구할 수 있다는 장점이 있으나 초기 값에 따라 서로 다른 해가 구해질 수 있으며 계산 시간이 길어 실시간성의 부여에 문제점이 있다.

2. 스튜어트 플랫폼의 운동해석

2.1 좌표계와 6자유도 운동

스튜어트 플랫폼은 Fig. 1과 같이 하판과 상판 그리고 여섯 개의 실린더로 구성되고 각각의 좌표계는 직각좌표계로서 하판에 대해 움직이지 않게 관성 좌표계(Base Frame)를 상판에 물체 고정 좌표계(Plate Frame)를 고정시킨다

스튜어트 플랫폼의 운동은 하판에 대한 상판의 병진 운동과 회전 운동으로 나뉘어진다 관성 좌표계에서 각 축 방향의 병진 운동을 서지(surge) u, 스웨이(sway) v, 히브(heave) z로 정의하고, 회전 운동을 롤(roll) r, 피치(pitch) p, 요(yaw) y로 정의한다. 병진

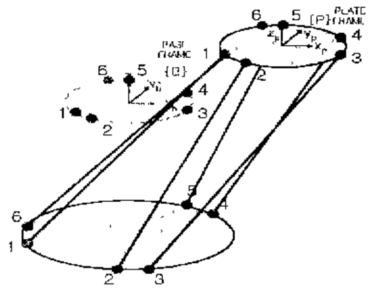

Fig. 1 The decision of the frames

운동, 회전 운동과 6자유도 운동을 각각 $q_1=[u\ v\ z]^T$, $q_2=[r\ p\ y]^T$와 $q=[u\ v\ z\ r\ p\ y]^T$의 변수로 표현한다.

2.2스튜어트 플랫폼의 조인트 좌표

기구학적인 해석을 위해서 조인트 번호를 Fig. 2(a)와 같이 설정하고 그 상· 하판 조인트 좌표벡터 $(B_i, {}^pP_i)$와 상· 하판 조인트 사이의 링크 벡터 (L_i)를 Fig. 2(b)와 같이 표현한다. B_i, $(i=1,\cdots,6)$는 관성 좌표계에 대한 하판 조인트 좌표벡터이고, ${}^pP_i$, $(i=1,\cdots,6)$는 물체고정 좌표계에 대한 상판 조인트 좌표 벡터이다.

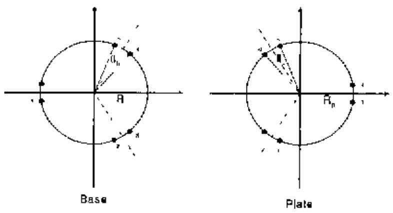

Fig. 2(a) definition of the joint numbers

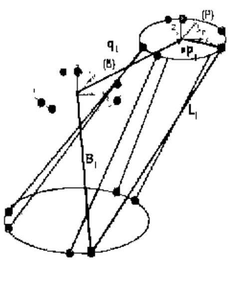

Fig. 2(b) joint and link vectors

2.3 스튜어트 플랫폼의 기구학 해석

2.3.1 스튜어트 플랫폼의 역기구학 해석

6자유도 운동이 주어졌을 때 스튜어트 플랫폼의 각 링크 길이를 구하는 역기구학 문제는 링크 벡터 L_i를 이용하여 식 (1)과 같이 구할 수 있다

$$l_i=\|L_i\|=\|R_{rpy}(q_2)^pP_i+q_1-B_i\|$$
$$L_i=R_{rpy}(q_2)^pP_i+q_1-B_i\ ,\ i=1,\cdots,6$$
R_{rpy}:좌표 변환 행렬 (1)

2.3.2 스튜어트 플랫폼의 순기구학 해석

스튜어트 플랫폼의 순기구학 문제를 해결하기 위해 수치 해석적 방법(Newton-Raphson)을 사용한다. 수치 해석에 사용될 함수는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$f_i(u,v,z,r,p,y)=\overrightarrow{L_i^T}\,\overrightarrow{L_i}-l_{i,mea}{}^2=0\ ,$$
$$i=1,\cdots,6$$

(2)

Newton-Raphson 방법의 알고리즘은 다음과 같다.

Step.1 초기값 q를 선정한다.

Step.2 $f_i(\boldsymbol{q})$를 계산하고 $\sum f_i(\boldsymbol{q})<\varepsilon$여부를 판단한다. 여기서 ε : 허용오차
식을 만족하면 계산을 중단하고 **q**를 지금의 값으로 결정하고 아니면 다음 단계로 넘어간다.

Step.3 새로운 **q**를 결정한다.

$$\vec{q}_{n+1}=\vec{q}_n-\left[\frac{\partial\vec{f}(\vec{q})}{\partial\vec{q}^{\,T}}\right]^{-1}_{\vec{q}=\vec{q}_n}\vec{f}(\vec{q}_n)$$

Step.4 다시 Step.2 로 간다.

이러한 과정을 통해서 구하고자 하는 스튜이트 플랫폼의 순기구학 문제를 해결한다. 이 과정 속에서 최초의 초기값에 따라 특이점에 빠져 반복횟수가 늘어 계산 시간이 길어지고, 다른 해가 나올 수도 있다. 이를 해결하기 위해 다음 장에서는 경쟁기법을 소개하고 이를 초기치를 설정하는데 적용시키는 방법을 제안한다.

3. 경쟁기법

3.1 경쟁기법

경쟁학습기법에서 학습을 제외시킨 형태로 내적을 이용한 벡터 개념이라 할 수 있다. 즉, 경쟁학습의 입력 벡터와 출력 벡터에 대한 가중치 벡터의 방향이 비슷할수록 큰 값을 가지고 방향이 반대방향일수록 작은 값을 가지게 된다. 이들의 내적은 활성 값이라 하고 활성 값들을 비교해 가장 큰 값을 갖는 가중치 벡터를 선정한다. 이러한 기법을 기하학적으로 표현하면 Fig. 3과 같다.

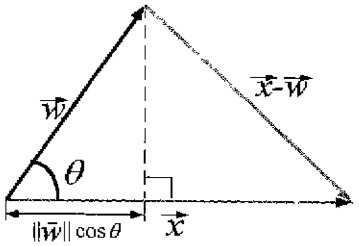

Fig 3 geometric analysis of the inner product

3.2 경쟁기법 구조

일반적인 입력 벡터는 $\vec{x^i} = [x_1^i x_2^i \cdots x_s^i]^T$ $1 \le i \le N$와 같이 주어진다. 여기서 s는 벡터의 차원이고 i는 N개의 입력 패턴 중 i번째 입력벡터임을 나타낸다. 또 가중치 벡터는 $\vec{w_k} = [w_{1k} w_{2k} \cdots w_{sk}]^T$ $1 \le k \le M$로 표현하고 s는 입력 벡터의 차원에 의존하고 k는 M개의 출력 노드 중 k번째 노드를 의미한다. Fig. 4와 같이 i번째의 입력 벡터에 대한 M개의 활성 값이 구해지면 그 중 가장 큰 값을 구하여 그에 해당하는 가중치 벡터를 취하게 된다. 이때 모든 벡터는 정규화 된 벡터로 가정한다.

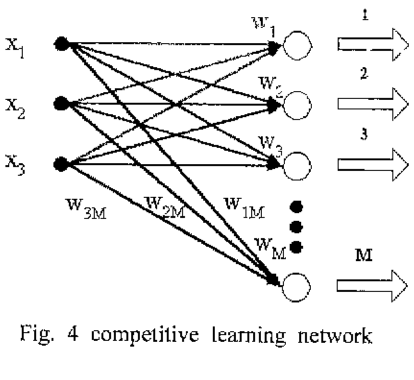

Fig. 4 competitive learning network

3.3 수치 해석적 방법의 초기치 설정에의 경쟁 기법의 적용

앞서 언급한 수치 해석적 방법의 문제점을 해결하기 위하여 앞 절에서 설명하였던 경쟁기법을 초기치 설정 문제에 적용한다. Newton-Raphson 방법의 초기치 설정 문제에 있어 경쟁기법을 적용하는 경우 입력 벡터는 측정된 링크 길이이고 가중치 벡터는 스튜어트 플랫폼의 운동 사양으로부터 적절히 분할되어진 운동을 역기구학으로 구한 링크 길이이다. 이를 토대로 구해진 활성 값 중 가장 큰 값을 선택하여 그 때의 운동을 초기치로 선정하고 Newton-Raphson 방법을 통해 순기구학을 해석한다

4. 시뮬레이션

먼저 임의의 추정하고자 하는 운동 10가지 경우를 선정하고 이에 대해 역기구학으로 링크 길이를 구하여 이를 측정된 길이를 대신하여 시뮬레이션 하였다. 그 이유는 순기구학을 통한 추정된 회전운동의 정확성의 비교를 위한 것이었다. 가중치 벡터는 운동사양을 고려하여 676개의 가중치 벡터를 선정하였다. 이러한 조건을 바탕으로 하여 경쟁기법을 적용한 Newton-Raphson 방법과 초기치를 일률적으로 0을 대입한 Newton-Raphson 방법의 오차와 반복횟수를 비교하였다. Newton-Raphson 방법의 수렴조건은 $\sum|f_i| < 10^{-8}$으로 하였고 두 방법의 결과를 Table 1.에 나타내었다. 또한 실제 계산 시간을 Table 2.에 나타내었다. 시뮬레이션에 사용한 CPU는 Pentium Ⅱ 266㎒이며 시간 단위는 CPU 내부 time단위이다.

Table 1. Comparison of repeat times and error

	Competitive Method		non Competitive Method	
no	repeat	error(10^{-8})	repeat	error(10^{-8})
1	3	0.0261	4	0.0000
2	3	0.0002	4	0.0001
3	3	0.0071	4	0.0000
4	3	0.1373	4	0.0140
5	4	0.0000	4	0.0221
6	3	0.0448	4	0.0000
7	3	0.1387	4	0.0007
8	3	0.3482	4	0.0017
9	3	0.1065	4	0.0001
10	3	0.0863	4	0.0031

Table 2. comparison of computation time

	Competitive Method	non Competitive Method
1	8.95	9.01
2	9 00	9.01
3	8.95	9.01
4	9.01	8.95
5	9.01	8.95
6	8.96	9.00
7	9.01	8.95
8	9.01	9.01
9	8.95	9.01
10	8 95	9.01

위의 Table 1 에서 확인할 수 있듯이 경쟁기법을 적용함으로써 일반전인 경우에 비해 수치 해석적 방법의 반복 횟수를 줄일 수 있고 허용 오차를 만족하는 링크 길이를 구할 수 있다. 또한 반복횟수를 줄임으로써 경쟁하는 부분의 계산이 늘어남에도 불구하고 역행렬 계산 등의 더 많은 계산을 줄일 수 있으므로 전체적인 계산 시간은 짧아져 일반적인 경우에 비해 실시간성이 더욱 좋아짐을 확인할 수 있다. 더욱이 경쟁기법을 통하여 초기치를 적절히 설정함으로써 수치 해석적 방법의 결과가 특이점(singular point)에 빠지는 것을 피할 수 있음을 확인하였다.

5.결론

본 연구에서는 스튜어트 플랫폼의 순기구학 해석 방법 중 수치 해석적 방법을 선택하고 수치 해석적 방법의 초기치 설정 문제를 해결하기 위해 경쟁기법을 도입하였다. 이 방법은 Newton-Raphson 방법 적용시 초기치를 일률적으로 '0'으로 두지 않고 경쟁기법을 통해 스튜어트 플랫폼의 운동 영역 내의 적절한 운동을 초기치로 설정하여 해석하는 방법이다. 이 방법은 기존의 수치 해석적 방법의 문제점인 초기치에 따른 다른 해가 나올 수 있는 경우를 해결하였고 초기치 설정을 적절히 함으로써 계산 시간도 줄여 수치 해석적 방법에 실시간성을 부여할 수 있었다. 이를 시뮬레이션을 통하여 기존의 방법과 제안된 방법을 비교함으로써 성능과 장점을 검증하였다.

후기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구의 연구비(과제번호 : 97-02-10-01-5)와 부산대학교 기성회제원 연구비의 지원 하에 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 하현표, "스튜어트 플랫폼의 실시간 순기구학 해석을 이용한 다변수 견실제어에 관한 연구," 부산대학교 공학석사학위논문. 2000
2. 이형상, 한명철, 이민철, "신경망 기법을 이용한 스튜어트 플랫폼의 순기구학 추정," 한국정밀공학회지, 제16권, 제8호, pp186-192, 1999
3. 박민규, "절대위치 검출형 유압 실린더를 이용한 병렬형 매니퓰레이터 개발에 관한 연구," 부산대학교 공학석사학위논문. 1998