

새로운 관절 기구를 갖는 소형 휴머노이드에 관한 연구

강택기, 박성훈, 이수영
국립전북대학교 전자정보공학부

Development of miniaturized humanoid with new joint mechanism

TaigGi Gang, SeongHoon Park, SooYeong Yi
Division of Electronics and Information Engineering Chonbuk National University

Abstract - In this paper, we developed a miniaturized humanoid having the new joint mechanism. In general, the high torque actuator and the joint mechanism having three coincided axes are important in development of the miniaturized humanoid. By using the swash plate, which is generally used in three axes rotor mechanism, we developed a new three-coincided-axes joint mechanism and a miniaturized humanoid having the joint mechanism at its hip and ankle joints. Since the joint mechanism has a pair of parallel drive motors for each axis, the driving torque of the joint mechanism is very high. Furthermore, thanks to the three-coincided-axes mechanism, the solution of the inverse kinematics is simple and computationally efficient, and the resulting walking behavior of the humanoid becomes natural.

1. 서론

로보틱스 분야는 과거 단순 작업을 하는 산업로봇에서 벗어나 현재 놀라운 발전을 하였다. 특히 이족보행로봇에 대한 연구는 수년 동안 많은 연구인의 목표가 되었으며 지금까지 인간과 흡사한 보행을 위한 연구가 진행되어 지고 있다. 보행로봇은 습지나 사막지대와 같은 무른 지형, 또는 계단이나 웅덩이 그리고 장애물 등이 있는 불규칙한 지형에서 그 이동성이 탁월하기 때문에 인간을 대신하여 작업할 수 있는 로봇으로서 원자력 발전, 심해 탐사, 우주탐사 목적으로 많은 연구가 있어왔다. 그것뿐만 아니라 스포츠공학이나 재활의학과 같은 분야에서도 이용가치가 크기 때문에 앞으로 이족 보행 로봇에 대한 연구가 차지하는 비중은 점점 더 커질 것이다. 이러한 이족로봇 연구의 두 가지 주류중 하나는 동역학 해석 및 수학적 기반으로 한 시뮬레이션에 의한 연구가 있으며 다른 하나로는 로봇을 실제 제작하여 인간과 유사한 보행과 안정된 보행, 동적 보행에 대한 연구가 있다. 본 논문은 후자의 경우로 로봇을 실제 설계, 제작하여 보행에 대해 논하고자 한다. 특히 고관절과 발목에 사용될 관절 조인트를 스와시 플레이트를 이용하여 3개의 구동축이 일치하는 새로운 관절 기구로 설계하였으며 이를 이용하여 로봇이 인간과 유사한 보행 궤적 및 안정된 보행을 실현하도록 소형 휴머노이드를 제작하였다.

2. 새로운 관절 기구의 구성

기존의 로봇 시스템에서는 기구적으로 고관절 또는 발목 부위의 회전축들이 일치하지 않았기에 다음과 같은 여러 문제들이 있었다. 로봇이 보행 궤적을 따라 움직일 때 동작의 부자연스러움에 따른 불안정, 복잡한 역기구학 해를 구하기 위한 연산처리 증가 또는 중심이동의 어려움 같은 문제들이 그것이다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 회전축이 일치하지 않는 로봇의 관절들을 인간의 구조와 같이 축이 일치하도록 관절 기구를 개발하였다. 이 관절 기구에서 사용하는 스와시 플레이트는 모형행기에서 회전하고 있는 메인로터 블레이드에 사이클릭 컨트롤을 위한 중요한 장치로서 이번 로봇 기구제작에 응용하였다.

2.1 기구설계

본 논문에서 개발한 관절 조인트로 제작된 로봇의 다리는 고관절의 스와시 플레이트에서 발목의 스와시 플레이트까지 27cm이고, 무게는 1.3kg이며, 다리 하나당 총 6개의 자유도를 가지고 있다. 다리의 6개 자유도는 yaw-roll-pitch-pitch-pitch-roll 구조로 되어 있으며 로봇이 보행을 하기 위해 필요한 직진 및 회전이 가능하도록 설계하였다. 관절 구동기로는 고관절 및 발목 부위의 스와시 플레이트를 roll 또는 pitch 방향으로 회전운동을 하기 위해 RC 서보모터(HIS-75BB)가 사용되었고, 로봇의 무릎 및 고관절의 yaw 방향의 회전운동을 위해 기어가 장착된 DC모터가 사용되었다. 사용된 RC 서보모터는 비록 크기에 비해 토크는 크지만 Retract Gear Servo 모터이므로 회전각을 정밀하게 제어할 수 없다는 단점이 있었다. 그래서 RC 서보 모터에 새로 포텐쇼메타를 장착하였고 안정된 로봇의 균형 및 출력 토크의 증가를 위하여 2개의 모터를 쌍으로 병렬 구조로 제작하였다. 제어는 모터 내부에 있는 제어기를 제거하고 자체 개발한 DC 모터 관절제어기를 대체하여 사용하였다. DC모터의 회전각 검출을 위한 것으로는 엔코더를 사용하였다. 각 제어기는 엔코더 및 포텐쇼메타 검출으로 사용할 수 있도록 설계하였다. 그림1은 실제 제작된 로봇의 다리이다.

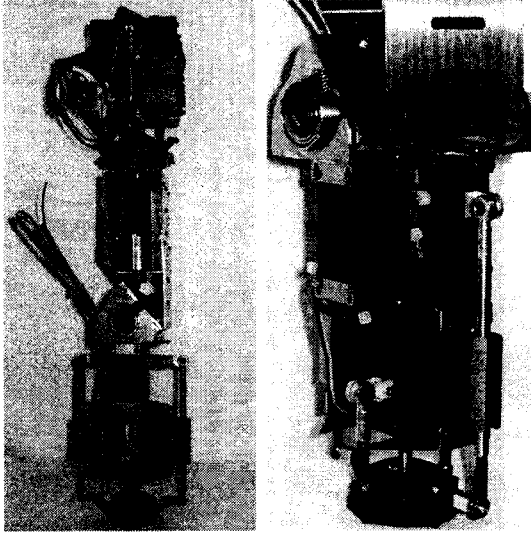


그림1. 실제 로봇의 다리관절

2.2 로봇 링크 좌표계 정의

로봇의 링크 좌표계는 D-H 표기법을 따라 다음 그림과 같이 설정하였다.

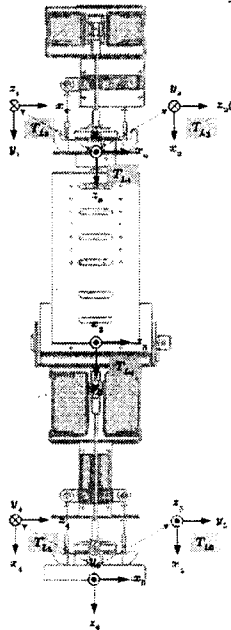


그림2. 로봇 링크 좌표계 설정

표1. D-H 매개변수

매개변수 관절번호	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	90°
2	θ_2	0	0	90°
3	θ_3	d_3	0	0°
4	θ_4	0	a_1	0°
5	θ_5	0	0	90°
6	θ_6	0	a_6	90°

2.3 로봇 기구학 해석

보행계절 상의 점들에 대해 역기구학의 해를 구하는 방법으로 반복형, 재귀형, 그리고 기구학적 형상에 대한 기하학적인 풀이방법 또는 해석적으로 푸는 방법과 같은 폐형식으로 구분할 수 있다. 반복형은 수치 해석적 방법으로 수렴할 때까지 반복적으로 계산하는 것이므로 느리다는 단점을 가지고 있다. 폐형식은 연속된 3개의 조인트 축이 일치하는 경우, 연속된 3개의 조인트 축이 평행할 경우와 같은 특별한 기구적 조건을 갖는 로봇에만 한정적으로 적용이 가능하다. 이번에 제작한 로봇은 이러한 기구적인 두 조건을 만족하므로 적용이 가능하다. 그리고 또 이러한 방법은 해가 항상 보장되어 있고 빠른 계산이 가능하다는 장점도 가지고 있기 때문에 본 논문에서는 해석적인 답을 찾기 위해 기하학적으로 역기구학의 해를 구하고자 한다.

2.3.1 동차 변환 행렬식

$$\begin{aligned}
 {}^{10}T_{11} &= \begin{bmatrix} -S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^{11}T_{12} &= \begin{bmatrix} -S_2 & 0 & C_2 & 0 \\ C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & (1) \\
 {}^{12}T_{13} &= \begin{bmatrix} -S_3 & 0 & C_3 & 0 \\ C_3 & 0 & S_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^{13}T_{14} &= \begin{bmatrix} -S_4 & -C_4 & 0 & -a_4 S_4 \\ C_4 & -S_4 & 0 & a_4 C_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^{11}T_{15} &= \begin{bmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^{15}T_{16} &= \begin{bmatrix} -S_6 & 0 & C_6 & a_6 C_6 \\ C_6 & 0 & S_6 & a_6 S_6 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^{10}T_{16} &= {}^{10}T_{11} \times {}^{11}T_{12} \times {}^{12}T_{13} \times {}^{13}T_{14} \times {}^{11}T_{15} \times {}^{15}T_{16} & (2)
 \end{aligned}$$

2.3.2 역기구학

말단 장치가 3축이 일치하도록 하면 역기구학의 해를 아주 쉽게 구할 수 있으므로 순방향 기구학을 발목에서부터 고관절 방향으로 계산하였다. 변환 행렬의 역행렬은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 {}^{16}T_{15} &= \begin{bmatrix} -S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ C_6 & S_6 & 0 & -a_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^{15}T_{14} &= \begin{bmatrix} C_5 & S_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ S_5 & -C_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & (3) \\
 {}^{11}T_{13} &= \begin{bmatrix} -S_3 & C_3 & 0 & -a_3 \\ -C_3 & -S_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^{13}T_{12} &= \begin{bmatrix} -S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d_3 \\ C_2 & S_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^{12}T_{11} &= \begin{bmatrix} -S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ C_2 & S_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & {}^{11}T_{10} &= \begin{bmatrix} -S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ C_1 & S_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

로봇을 표시하는 최종 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 {}^{16}T_{10} &= \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= {}^{16}T_{15} \times {}^{15}T_{14} \times {}^{14}T_{13} \times {}^{13}T_{12} \times {}^{12}T_{11} \times {}^{11}T_{10} & (4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= {}^{15}T_{16} \times {}^{16}T_{10} \\
 &= {}^{15}T_{14} \times {}^{14}T_{13} \times {}^{13}T_{12} \times {}^{12}T_{11} \times {}^{11}T_{10} & (5)
 \end{aligned}$$

행렬식(5)로부터 아래의 수식을 얻을 수 있다.

$$\theta_6 = \tan^{-1} \left(-\frac{P_x}{P_z + a_6} \right) & (6)$$

P_x 와 P_z 는 말단장치의 위치 성분이다.

$$\theta_4 = \tan^{-1} \left(\frac{S_4}{C_4} \right) \quad (7)$$

여기서 C_4 와 S_4 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_4 = \frac{(P_z C_6 + a_6 C_6 - P_x S_6)^2 + P_y^2 - d_3^2 - a_4^2}{2d_3 a_4} \quad (8)$$

$$S_4 = \pm \sqrt{1 - C_4^2}$$

θ_5 의 값도 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_5 = \tan^{-1} \left(\frac{S_5}{C_5} \right) \quad (9)$$

C_5 , S_5 는 (10)과 같고 M,N을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} M &\triangleq d_3 C_4 + a_4, & N &\triangleq d_3 S_4 \\ S_5 &= \frac{(P_z C_6 + a_6 C_6 - P_x S_6) N - P_y M}{M^2 - N^2} \\ C_5 &= \frac{-(P_z C_6 + a_6 C_6 - P_x S_6) M - P_y N}{M^2 - N^2} \end{aligned} \quad (10)$$

관절2,3,4의 축이 서로 평행하기 때문에 ${}^{L3}T_{L4}$, ${}^{L4}T_{L5}$ 을 앞에 곱하는 것은 그리 유용한 결과를 얻지 못한다. 그래서 다음 단계로 아래 식과 같이 곱한다.

$$\begin{aligned} &{}^{L2}T_{L3} \times {}^{L3}T_{L4} \times {}^{L4}T_{L5} \times {}^{L5}T_{L6} \times {}^{L6}T_{L0} \\ &= {}^{L2}T_{L1} \times {}^{L1}T_{L0} \end{aligned} \quad (11)$$

행렬식(11)로부터 θ_3 , θ_{345} 및 θ_2 를 구할 수 있다.

$$\theta_{345} = \tan^{-1} \left(\frac{a_y}{(C_6 a_x - S_6 a_x)} \right) \quad (12)$$

$$\theta_3 = \theta_{345} - \theta_4 - \theta_5 \quad (13)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{S_2}{C_2} \right) \quad (14)$$

C_2 와 S_2 는 식(16)과 같이 구할 수 있다.

$$C_2 = -S_6 C_{345} a_x + S_{345} a_x + C_6 C_{345} a_x \quad (15)$$

$$= (C_6 a_x - S_6 a_x) C_{345} + S_{345} a_x$$

$$S_2 = C_6 a_x + S_6 a_x$$

θ_1 을 구하기 위해 다음 행렬식을 구한다.

$$\begin{aligned} &{}^{L1}T_{L2} \times {}^{L2}T_{L3} \times {}^{L3}T_{L4} \times {}^{L4}T_{L5} \times {}^{L5}T_{L6} \times {}^{L6}T_{L0} \\ &= {}^{L2}T_{L1} \times {}^{L1}T_{L0} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{S_1}{C_1} \right) \quad (17)$$

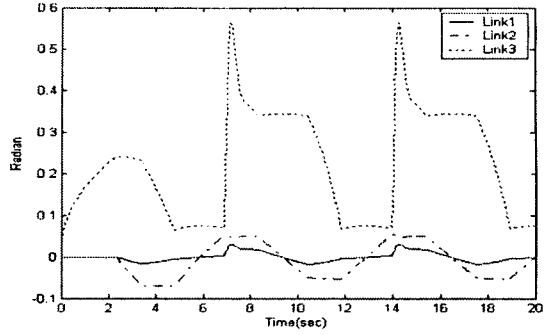
C_1 와 S_1 는 식(19)과 같이 구할 수 있다.

$$S_1 = -S_{345} S_6 n_x - C_{345} n_x + S_{345} C_6 n_x \quad (18)$$

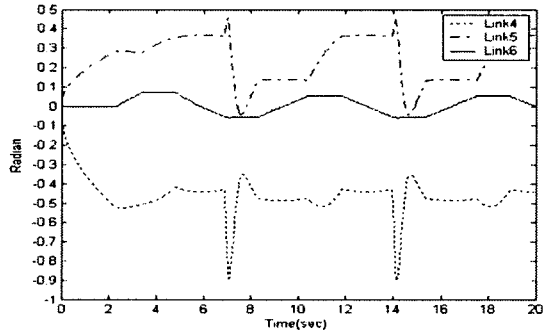
$$C_1 = S_{345} S_6 o_x + C_{345} o_x - S_{345} C_6 o_x$$

3. 시뮬레이션

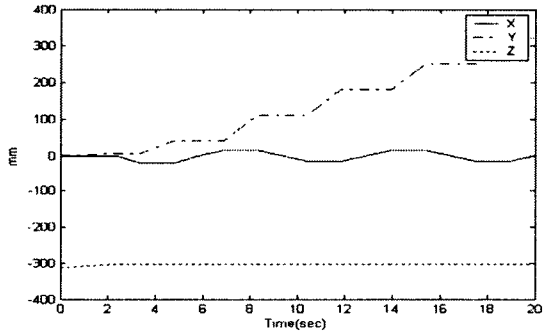
본 논문에서 제안한 관절 기구를 이용하여 이족 보행 로봇을 구현하기 위해 2장에서 제시한 역기구학 해를 이용 보행궤적을 생성하였다. 생성된 궤적은 실제 관절 기구를 기반으로 설계된 시뮬레이션 프로그램을 통해 검증하였다. 그림3은 초기 5초간에 안정화 자세와 반보 전진 이후 3보 전진 보행시 각 링크의 궤적을 나타낸 것이다.



(a) 고관절 궤적



(b) 무릎과 발목 관절



(c) 몸체 궤적

그림3. 보행 궤적

4. 결론

본 논문에서는 새로운 관절 기구를 갖는 소형 휴머노이드 로봇을 소개하였다. 스와시 플레이트를 이용한 3개의 구동축이 일치하는 새로운 관절기구는 논문에서 말한 바와 같이 역기구학의 해를 구하기 쉬워졌다. 그로 인해 로봇의 보행궤적들 상의 점들에 대한 해를 구하는데 필요한 연산과정을 줄일 수 있게 되었다. 마지막으로 로봇 관절이 사람과 같이 3축이 일치하게 되었으므로 향후 로봇의 보행 운동이 사람처럼 보다 자연스럽게 될 수 있을 것이라 생각한다.

[참고 문헌]

- [1] Saeed B. Niku, "Introduction to Robotics : Analysis, Systems, Applications", 2002
- [2] McKerrow, Phillip John, "Introduction to robotics", 1995
- [3] F.L. Lewis, C. T. Abdallah "Control of robot manipulators" Macmillan Publishing Company, 1993
- [4] J.H. Jin, "A study of small sized humanoid robot system", master'degree thesis, Chonbuk Nation univ , 2002