

소형 휴머노이드(SERO-VI) 로봇 설계 및 구현

Design and Realization of a Small Humanoid Robot

이보희*, 전재민**, 김기우***, 박성철***, 오준영***,

Bo-hee Lee, Jae-min Jun, Ki-woo Kim, Sung-chul Park, Jun-young Oh

Abstract - This paper deals with the design and the realization of a small humanoid robot, which is called SERO_VI. The design concept and the mechanical structure including kinematics for the robot are presented. The humanoid robot consisted of 25 DOF with legs 12 DOF, arms 8 DOF, waists 3 DOF and heads 2 DOF for the purpose of vision system. The controller structure was also suggested such as modular joint actuators, DSP interface and their communication method. Simple experiment was done and its validness was investigated in order to verify the kinematic result.

Key Words : Humanoid robot, kinematics, modular joint actuators

1. 서 론

최근에 가장 활발하게 연구 개발되고 있는 분야는 인간의 형상을 닮은 2족 2수의 휴머노이드 로봇 분야이다. 이러한 로봇이 인간의 행동과 유사한 구현을 위해서는 32자유도가 필요하다. 하지만, 로봇의 무게와 구동 메카니즘 등을 고려할 때 32자유도를 가지는 휴머노이드 로봇개발이 쉽지 않기 때문에, 이를 소형화 하여 소형 휴머노이드 로봇^[1]을 구현하고자 하는 연구 개발이 활성화 되고 있다.

일본에서 개발된 아시모(ASIMO)^[2]나 큐리오(QURIO)^[3], 그리고, 국내에서 개발된 휴보(HUBO)^[4]는 모두 휴머노이드 로봇으로서 모두 인간과 유사한 행동을 하고 있으며, 인공지능을 이용하여 점차 지능화된 로봇으로 발전되고 있다.

본 연구에서는 이러한 형태의 로봇을 제작하여 인간과 유사한 행동 구현을 위해, 각각 다리 12, 팔 8, 허리 3, 머리 2 자유도를 두어 총 25자유도를 가진 소형 휴머노이드 로봇을 설계 제작 하였다. 로봇의 크기가 다른 소형 로봇보다 다소 큰 것을 감안하여, 각 관절은 다른 모터보다 토크가 큰 로봇터즈의 DX-117 모터를 사용하였으며, 로봇의 외형은 3차원 CAD인 SolidWorks^[5]를 사용하여 설계 하였고, 모의 시뮬레이션을 통하여 검증 하였다.

본 연구에서는 소형 휴머노이드 로봇을 제작함으로써 각 관절의 기구학 해석을 제시 하였고, 로봇을 구동하기 위한 컨트롤러인 DSP^[6]를 사용하여 제어를 구현 하였으며, 간단한 동작으로 검증 하였다.

2. 로봇 설계 및 제작

저자 소개

- *세명大學 전기공학科 副教授 · 工博
- **세명大學 전기공학科 碩士課程
- ***세명大學 전기공학科 學士課程

로봇은 전체 25자유도로서 다리 6자유도, 팔 4자유도, 허리 3자유도, 머리 2자유도를 두었고, 크기 42.5Cm, 무게 3.4kg인 로봇을 설계하였다. 다리는 제자리 회전을 할 수 있게 설계 하였으며, 팔은 어깨 관절 아래 하나의 관절을 더 두어 사람과 유사한 동작을 구현 할 수 있도록 설계하였다. 또한 허리 관절에 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw) 3가지 관절을 두어 로봇의 무게 중심점의 이동을 편하게 하였고, 부드러운 동작을 구현 할 수 있도록 하였다. 그림 1은 로봇 외관을 나타내었고, 그림 2는 로봇의 전체 좌표계를 나타낸다.

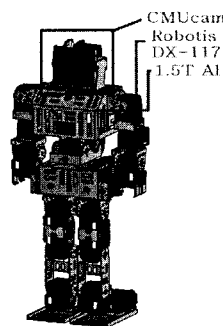


그림 1 SERO-VI 외관

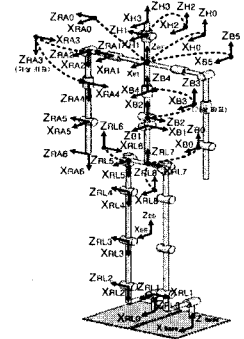


그림 2 전체 좌표계

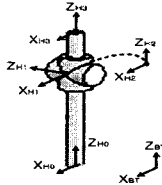
Fig. 1 SERO-VI external Fig. 2 Coordinates system

3. 기구학 해석

전체 기구학 해석은 25자유도이기 때문에 한꺼번에 좌표계를 해석하는데 어려움이 있어, 다음과 같이 4부분으로 나누어 진행하였다.

3.1. 머리 부분

머리부의 좌표계 및 D-H 파라미터는 그림 3과 같다.



Link	θ	d	a	α
1	0	45	0	-90
2	θ_2	0	0	90
3	θ_3	19	0	0

그림 3 머리 좌표계 및 D-H 파라미터

Fig. 3 Coordinates system of head and D-H parameter

D-H 파라미터를 바탕으로 순기구학을 풀면 다음과 같다.

$$n_x = c_2c_3, \quad n_y = -s_3, \quad n_z = -s_2c_3 \quad a_x = s_2, \quad a_y = 0, \quad a_z = c_2$$

$$s_x = -c_2s_3 \quad s_y = -c_3, \quad s_z = s_2s_3 \quad P_x = 19s_2, \quad P_y = 0, \quad P_z = 45 + 19c_2$$

이때, 역기구학은 다음과 같다. $T = A_1A_2A_3$ 에서, $19s_2 = P_x$ 이므로, θ_2 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

(1)

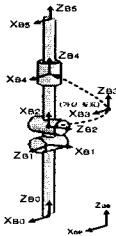
$$A_3^{-1}A_2^{-1}A_1^{-1}T = E \text{에서 } (1,4) \text{식}$$

$s_3(c_2P_x + s_2(45 - P_z)) - s_3P_y = 0$ 을 정리하면, θ_3 를 얻을 수 있다.

$$\theta_3 = \text{atan} \frac{P_x(\sqrt{19^2 - P_x^2} + (45 - P_z))}{19P_y} \quad (2)$$

3.2. 허리 부분

허리부의 좌표계 및 D-H 파라미터는 아래 그림 4와 같다.



Link	θ	d	a	α
1	90	49.6	0	90
2	θ_2	0	11.75	90
3	θ_3	0	0	90
4	0	36	0	0
5	θ_5	40	0	0

그림 4 허리 좌표계 및 D-H 파라미터

Fig. 4 Coordinates system of waist and D-H parameter

D-H 파라미터를 바탕으로 순기구학을 풀면 다음과 같다.

$$n_x = s_3c_5, \quad n_y = -c_2c_3c_5 + s_2s_5, \quad n_z = s_2c_3c_5 - c_2s_5$$

$$a_x = c_2s_3, \quad a_y = -c_3, \quad a_z = s_2s_3$$

$$s_x = -s_3s_5, \quad s_y = -c_2c_3s_5 + s_2c_5, \quad s_z = -s_2c_3s_5 - c_2c_5$$

$$P_x = -76c_3, \quad P_y = 76c_2s_3 + 11.75c_2, \quad P_z = 49.6 + 76s_2s_3 + 11.75s_2$$

이때의 역기구학은 아래와 같이 나타낸다.

$$T = A_1A_2A_3A_4A_5 \text{에서 } -76c_3 = P_x \text{이므로,}$$

$$\theta_3 = \text{atan} \frac{\pm\sqrt{76^2 - (-P_x)^2}}{-P_x} \quad (3)$$

$$A_1^{-1}T = A_2A_3A_4A_5 \text{에서 } 75c_2 = P_y \text{이므로,}$$

$$\theta_2 = \text{atan} \frac{\pm\sqrt{75^2 - (P_y)^2}}{P_y} \quad (4)$$

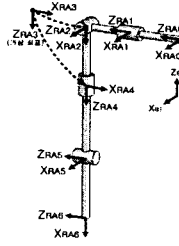
$$A_5^{-1}A_4^{-1}A_3^{-1}A_2^{-1}A_1^{-1}T = E \text{에서 } c_5s_3P_x + (c_5c_3c_2 + s_5s_2)P_y$$

$$+ (c_5c_3s_2 - s_5c_2)P_z - 49.6c_5c_3s_2 + 49.6s_5c_2 - 11.75c_5c_3 = 0 \text{이므로, } \theta_5 \text{는}$$

$$\theta_5 = \text{atan} \frac{(75P_x - 3720)\sqrt{76^2 - P_x^2} - P_x(P_x^2 + P_y^2\sqrt{75^2 - P_y^2} - 0.1567)}{76(P_y\sqrt{75^2 - P_y^2} - (P_x - 49.6)P_y)} \quad (5)$$

3.3. 팔 부분

팔부의 좌표계 및 D-H 파라미터는 그림 5와 같다.



Link	θ	d	a	α
1	0	40	0	0
2	θ_2	32	0	-90
3	θ_3	0	0	90
4	0	43.5	0	0
5	θ_5	54	0	-90
6	θ_6	0	46	0

그림 5 팔 좌표계 및 D-H 파라미터

Fig. 5 Coordinates system of arm and D-H parameter

순기구학과 역기구학은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$n_x = (c_2c_3c_5 - s_2s_5)c_6 - c_2s_3s_6 \quad s_x = -(c_2c_3c_5 - s_2s_5)s_6 - c_2s_3c_6$$

$$n_y = (s_2c_3c_5 + c_2s_5)c_6 - s_2s_3s_6 \quad s_y = -(s_2c_3c_5 + c_2s_5)s_6 - s_2s_3c_6$$

$$n_z = -s_3c_5c_6 - c_3s_6 \quad s_z = s_3c_5s_6 - c_3c_6$$

$$a_x = -c_2c_3s_5 - s_2c_5 \quad P_x = 46(c_2c_3c_5 - s_2s_5)c_6 - 46c_2s_3s_6 + 97.5c_2c_3$$

$$a_y = -s_2c_3s_5 + c_2c_5 \quad P_y = 46(s_2c_3c_5 + c_2s_5)c_6 - 46s_2s_3s_6 + 97.5s_2s_3$$

$$a_z = s_3s_5 \quad P_z = -46s_3c_5c_6 - 46c_3s_6 + 72 + 97.5c_3$$

$A_2^{-1}A_1^{-1}TA_6^{-1} = A_3A_4A_5$ 에서 $46n_x + 72 - P_x = -97.5c_3$ 로 나타내며, θ_3 를 유도해 낼 수 있다.

$$\theta_3 = \text{atan} \frac{\sqrt{97.5^2 - (46n_x + 72 - P_x)^2}}{46n_x + 72 - P_x} \quad (6)$$

또한, $-46s_2n_y - 46c_2n_x + s_2P_y + c_2P_x = 0$ 에서, θ_2 는 다음과 같다.

$$\theta_2 = \text{atan} \frac{46n_x - P_y}{P_y - 46n_y} \quad (7)$$

$A_4^{-1}A_3^{-1}A_2^{-1}A_1^{-1}T = A_5A_6$ 에서 $54 - 46s_6 = s_2P_y + c_2P_x$ 로 나타내며, θ_6 는 다음과 같다. (여기서, $G = \tan^{-1} \frac{46n_x - P_y}{P_y - 46n_y}$ 이다.)

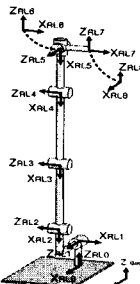
$$\theta_6 = \text{atan} \frac{54 - P_y \sin G + P_x \cos G}{\sqrt{1 - (54 - P_y \sin G + P_x \cos G)^2}} \quad (8)$$

마지막으로 $A_2^{-1}A_1^{-1}TA_6^{-1} = A_3A_4A_5$ 에서 $c_6 = s_2a_y + x_2a_x$ 식에서, θ_5 를 유도 할 수 있다.

$$\theta_5 = \text{atan} \frac{\sqrt{1 - (a_y \sin G + a_x \cos G)^2}}{a_y \sin G + a_x \cos G} \quad (9)$$

3.4. 다리 부분

다리부의 좌표계 및 D-H 파라미터는 그림 6과 같다.



Link	θ	d	a	α
1	90	22.2	0	90
2	θ_2	0	23.5	90
3	θ_3	0	63	0
4	θ_4	0	69	0
5	θ_5	0	43.5	-90
6	θ_6	0	0	-90
7	θ_7	0	23	0
8	-90	0	0	0

그림 6 다리 좌표계 및 D-H 파라미터

Fig. 6 Coordinates system of leg and D-H parameter

각각의 조인트의 역기구학은 다음과 같이 정리된다.

$$\theta_2 = -\pi + \phi \quad (\text{단, } \phi = \text{atan}\left(\frac{P_z' - 22.2}{P_y'}\right)) \quad (10)$$

$$\theta_3 = \text{atan}\left(\frac{D_{3c}}{D_{3s}}\right) \quad (\text{단, } D_{3c} = -\frac{\alpha K_{41} + \beta K_{42}}{\alpha^2 + \beta^2}, \quad D_{3s} = \frac{\beta K_{41} - \alpha K_{42}}{\alpha^2 + \beta^2},$$

$$\alpha = 69c_4 + 63, \quad \beta = 69s_4, \quad K_{41} = -\alpha c_3 + \beta s_3, \quad K_{42} = -\beta c_3 - \alpha s_3 \quad (11)$$

$$\theta_4 = \text{atan}\left(\frac{D_{4c}}{D_{4s}}\right) \quad (\text{단, } d_{4c} = \cos \theta_4 = \frac{K_{41}^2 + K_{42}^2 - 63^2 - 69^2}{2 \times 63 \times 69},$$

$$D_{4s} = \sqrt{1 - D_{4c}^2}, \quad K_{41} = -69c_{34} - 63c_3, \quad K_{42} = -69s_{34} - 63s_3 \quad (12)$$

$$\theta_5 = \text{atan}\left(\frac{c_6 s_7 c_7 + c_6 n_x s_7 - a_x s_6}{-s_x s_7 + n_x c_7}\right) - \theta_3 - \theta_4 \quad (13)$$

$$\theta_6 = a \cos(D_{c-6}) \quad (\text{단, } D_{c-6} = c_6 = -s_2 a_y + c_2 a_z \quad (14)$$

$$\theta_7 = \text{atan}\left(\frac{D_{7c}}{D_{7s}}\right) \quad (\text{단, } D_{7s} = \frac{s_y K_{71} - s_x K_{72}}{n_x s_y - n_y s_x}, \quad D_{7c} = \sqrt{1 - D_{7s}^2},$$

$$K_{71} = -\frac{a_x c_6}{s_6}, \quad K_{72} = -\frac{a_y c_6}{s_6} \quad (15)$$

여기서 기준좌표계는 실제 발바닥과 다리부의 수직 위치에 있는 부분을 설정하였으며, 전체 기준 좌표계 표현 시 오프셋 ($d=39$) 만큼의 좌표 변환이 필요가 있다.

4. 제어부

로봇의 관절제어에 사용되는 모터는 자체 내에 위치 제어 및, 토크 제어를 수행하기 때문에 간단히 RS-485 사양의 직렬 결합에 의하여 구성하였다. 관절 제어는 모터에 정해진 통신 사양에 맞게 DSP 모듈에서 전송하는 형태로 구현 하였다. 그림 7은 전체 구동부의 간략한 기능을 나타낸다. 머리부에는 향후 로봇의 장애물 환경에서의 걸음새를 구현하기 위한 비전 시스템을 장착하였다. 비전 시스템은 CMUcam2^[7]를 사용 하였으며 내부에 간단한 물체 추적 및, 비전 알고리즘을 수행하는데 필요한 기능을 가지고 있어서 휴머노이드의 시각 시스템을 구성하는데 적합하기 때문에 채택하였고, 2개의 DOF를 연결하여 움직일 수 있게 구성하였다. 전원부는 동시에 모터 동작 할 때도 사용할 수 있게 14.4V, 3,500mAh용의 폴리머 전지를 사용하였다.

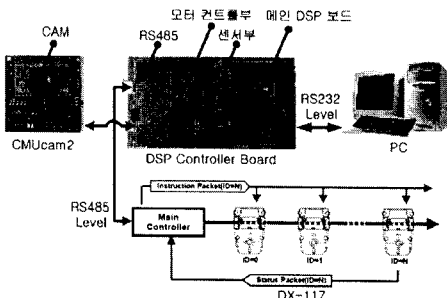


그림 7 제어부 블록선도

Fig. 7 Controller block diagram

5. 실험 및 고찰

설계 및 기구학 해석을 검증하기 위해 간단한 동작을 구현 하였다. 제시된 동작은 초기 서있는 자세에서 무릎을 30도

구부렸다 펴는 동작과, 한쪽 다리를 2.5cm들어 올리고 한쪽 다리로 지지 하는 동작을 구현하였다. 그림 8은 좌측상단에서 우측 하단까지 연속된 동작을 표현하였다. 동작은 좌에서 우로 진행하게 표현 하였다. 실험 결과 로봇의 움직임에 대한 검증을 할 수 있었다.

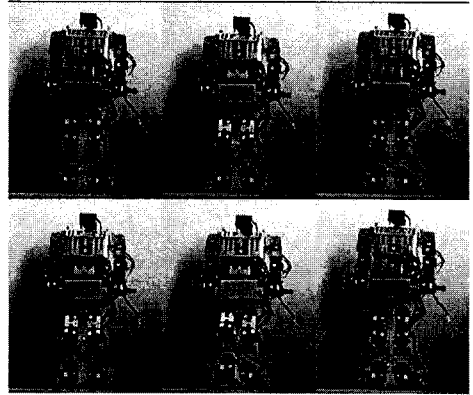


그림 8 초기자세 및 한 다리 지지 동작

Fig. 8 Initial posture and single support posture

6. 결론

본 논문은 소형 휴머노이드 로봇의 설계 및, 이에 따른 기구학 해석을 다루고 있다. 그리고 해석된 결과를 바탕으로 제어기 설계 및 실제 검증하는 방법을 제시 하고 있다.

향후 제작된 로봇의 동작 검증을 위한 궤적 계획 및 다양한 걸음새 구현을 위한 알고리즘에 대한 연구가 필요하며, 제어기의 설계에서는 FPGA 와 RTOS를 접목시켜, 보다 다양한 응용 분야에서 사용 될 수 있는 제어기 구조에 대한 연구가 요구 된다.

후기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10364-0) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] T. Ishida, Y. Kuroki, J. Yamaguchi, M. Fujita, and T. Doi, "Motion entertainment by a small humanoid robot based on OPEN-R", IEEE/RSJ, pp. 1709-1086, 2001
- [2] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki and K. Fujimura, "The inteling ASIMO: system overview, and intergration", IEEE/RSJ International Conference v.3, pp. 2478-2483, 2002
- [3] http://www.sony.net/SonyInfo/QRIO/top_nf.html
- [4] <http://ohzlab.kaist.ac.kr/robot/KHR-3.html>
- [5] <http://solidworks.co.kr/>
- [6] 김명진, 김희동, 오영인, "TMS320C6000계열 프로세서 활용 DSP 실험실습", 생능출판사
- [7] <http://seattlerobotics.com/>