

소형 인간형 로봇의 골프하기

論 文

56-2-23

A Small Humanoid Robot that can Play Golf

金鐘佑*·車鐵**·成永輝[†]·趙東權***

(Jong-Woo Kim · Chul Cha · Young Whee Sung · Dong Kwon Cho)

Abstract - Robot mobility and intelligence become more important for robots to be used in various fields other than automation. The main purpose of providing mobility to a robot is to extend the robot's manipulability. In this paper, we introduce a small humanoid robot that can autonomously play golf as an example of incorporating robot intelligence, mobility, and manipulability. The robot has 12 degrees of freedom for legs and has various basic walking patterns. It can move to a desired position and change orientation by combining the basic walking patterns. The robot has a color CCD camera and can extract coordinates of the objects in the environments. The small humanoid robot has 8 degrees of freedom for arms and can play golf autonomously with two kinds of dexterous swing motions. Kinematic analysis of the robot arms, vision data processing for the recognition of the environments, algorithm for playing robotic golf have been performed or proposed. The experimental results show that the robot can play golf autonomously.

Key Words : Humanoid robot, Playing golf, Biped walking, Vision

1. 서 론

최근들어 기업, 연구소, 대학에서 많은 연구자들이 인간형 로봇을 연구, 개발하고 있다[1-8]. 이러한 인간형 로봇의 특징으로는 두 다리를 사용한 보행과 두 팔을 사용한 작업(manipulation), 그리고 다양한 센서를 사용한 지능형 동작을 들 수 있다. 인간형 로봇에게 이동성을 주는 2족 보행은 바퀴나 무한궤도를 사용하는 이동기능에 비하여 보다 복잡하고 인간 중심적인 환경에서 적용이 가능한 장점이 있다. 한편 이러한 이동성을 추구하는 것의 궁극적인 목적은 무엇인가 유용한 작업을 수행하는데 있으며, 이러한 유용한 작업을 수행하기 위해서는 로봇이 주변 환경의 특징을 감지하고, 이를 지능적으로 이용하여 이동 및 머니플레이션을 적절히 수행할 수 있어야 한다. 지금까지의 인간형 로봇의 연구는 안전한 보행에 초점이 맞추어져 있으며, 머니플레이션에 관한 연구는 상대적으로 많지 않다[7-10].

본 논문에서는 보행과 머니플레이션이 가능하며 지능을 갖춘 지능형 인간형 로봇의 예로서 구현된 골프하는 로봇에 관하여 기술한다. 기존의 연구로, Watanabe는 3차원 자이로 센서를 사용하여 인간의 골프 스윙 동작을 측정하여 골프 폼을 평가하는 방법을 연구하였으나, 이를 로봇에 적용하는 시도는 하지 않았다[10]. M. Jouaneh 등은 x, y, z 방향의 이동

과 물이 가능한 직교좌표형 로봇 팔을 이용하여 초보적인 미니 골프를 하는 시스템을 구현하였다[9]. 본 논문에서 구현된 로봇은 소형의 인간형 로봇으로서, 하나의 칼라 카메라를 사용하여 주변 환경을 감지한 후, 2족 보행과 두 손을 사용하여 골프를 자율적으로 수행할 수 있다. 로봇이 골프를 수행할 수 있도록 하기 위하여 로봇 팔의 설계, 기구학적 분석 및 경로 계획 방법, 골프 알고리즘 등을 제안하고, 실제 실험을 수행하여 검증한다.

2. 로봇 시스템

로봇은 신장이 45cm, 중량이 3,500g 이며, 한 다리에 6 자유도와 한 팔에 4 자유도, 그리고 목에 2 자유도를 가져서 총 22 자유도를 가지는 소형의 인간형 로봇이다. 머리 부분에는 주위 환경 인식을 위한 야날로그 칼라 CCD 카메라 하나와 무선 송신기가 장착되어 있어 영상 정보를 원격지의 호스트 PC에 전송한다. 그림 1은 로봇의 관절 구성 및 외관을 나타낸다.

로봇 제어부는 그림 2에 보인 바와 같이, 외부의 호스트 PC와 로봇에 탑재되어 있는 주 제어기와 보조 제어기로 이루어진다. 호스트 PC는 로봇의 보행 데이터와 모션 데이터를 생성하거나, 영상을 처리하여 그 결과에 따른 경로 계획을 하고, 주 제어기인 DSP로 데이터나 명령을 전송한다. DSP 주 제어기는 호스트 PC로부터 받은 데이터의 처리 및 명령을 수행하고, FPGA 보조 제어기는 DSP 주 제어기로부터 데이터를 넘겨받아 22개의 RC 서보 모터를 제어한다[11].

그림 3은 인간형 로봇에 구현되어 있는 기본 보행 패턴들이다. 그림에서 빗금친 사각형은 보행 전의 로봇 발바닥의 위치를, 보통 사각형은 보행 후의 로봇 발바닥의 위치를 나

* 學生會員 : LGPhilips-LCD 研究員 · 工學碩士

** 學生會員 : i3system(주) 主任研究員 · 工學碩士

† 교신저자, 正會員 : 金烏工科大學校 電子工學部 副教授 · 工博
E-mail : ywsung@kumoh.ac.kr

*** 正會員 : KT 未來技術研究所 首席研究員 · 工博

接受日字 : 2006年 7月 14日

最終完了 : 2006年 11月 22日

타낸다. 로봇은 이러한 기본 보행 패턴들을 조합하여 한 지점에서 다른 지점으로의 이동 및 방향 전환을 수행할 수 있다. (a)는 전진 보행 (b), (c)는 반보 전진 보행, (d)는 우측 보행 (e)는 제자리 회전 보행 (f)는 회전 보행 (g)는 대각선 보행을 나타낸다. 호스트 PC의 모션 생성부는 보행 파라미터의 설정에 따른 로봇 다리부의 기구학 해석을 통해 안정된 보행 데이터를 만들어 내고, 경로 계획부에서는 획득된 물체의 3차원 거리 정보와 로봇의 현 위치 정보를 가지고 골프를 하기 위해 이동해야 할 목적지를 계산해 내고, 목적지까지 도달하기 위해서 필요한 기본 보행 패턴들의 조합을 생성해 낸 후, 이를 로봇에 전송하여 보행을 실현한다.

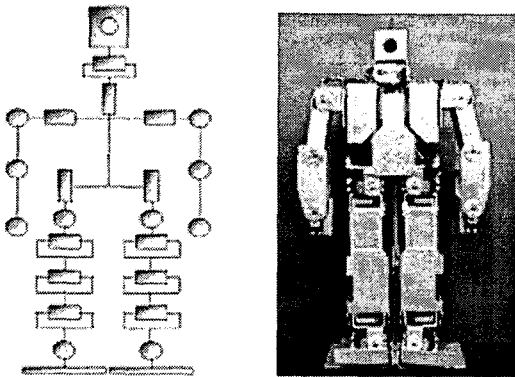


그림 1 로봇의 관절 구성 및 외관
Fig. 1 The joint configuration and appearance of the robot

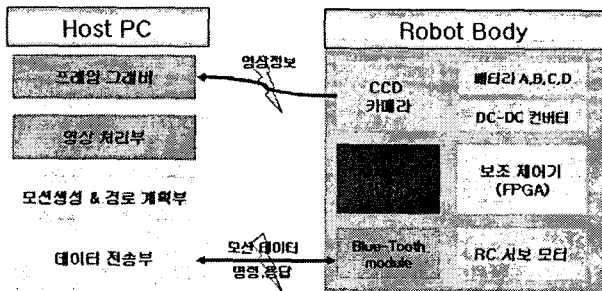


그림 2 전체 로봇 시스템의 구성
Fig. 2 The overall robot system

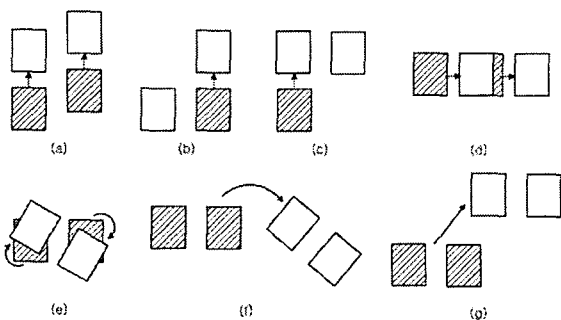


그림 3 기본 보행 패턴들.
Fig. 3 The basic walking patterns of the robot

3. 골프를 위한 기구학

3.1 어드레싱 동작

로봇이 골프를 하기 위해서는, 우선 다리부를 사용하여 적절한 위치와 방향을 갖도록 이동한 후, 공을 치기 위해 골프채를 공에 접근시키는 어드레싱(addressing) 동작과 공을 치는 스윙(swing) 동작이 필요하다. 로봇은 이러한 어드레싱과 스윙 동작을 수행할 수 있도록 팔부에 그림 1에서와 같이 4개의 관절을 갖도록 설계되었다. 그림 4는 로봇이 공에 접근하여 어드레싱 자세를 취했을 때를 보여준다. 그림 4에는 특정한 형태로 제작되어 로봇의 오른손에 부착된 골프채도 나타나고 있다. 이와 같은 어드레싱 자세를 취하기 위해서는 팔부의 4 관절을 모두 사용하게 된다. 한편 로봇의 기구학적 해석을 수행하기 위해서 로봇의 모든 관절에는 고유의 좌표계가 설정되어 있다[11]. 그림 4에는 어드레싱 자세 때의 로봇 팔 부의 역기구학을 해석하기 위하여 필요한 3개의 좌표계만을 도시하였다. 팔의 0좌표계는 팔 부의 첫 번째 관절에서의 좌표계이고, 다리의 2좌표계는 다리부의 세 번째 관절에서의 좌표계이다.

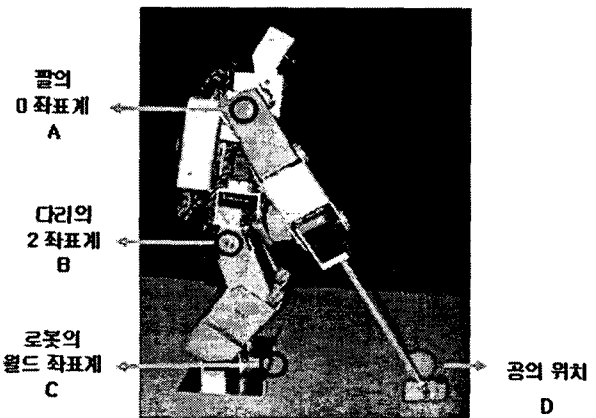


그림 4 어드레싱 자세를 취했을 때의 로봇.
Fig. 4 Addressing configuration of the robot.

한편 그림 5는 그림 4의 로봇 자세에서 팔의 첫 번째 관절에 대한 역기구학 해석을 위해 필요한 다양한 변수들을 도시하고 있으며 그림에서의 변수들에 대한 정의는 다음과 같다. 그림 5에서의 A, B, C, D는 각각 그림 4에서의 A, B, C, D와 같은 점을 나타낸다.

- Ja_i : 팔의 i 번 관절
- Jl_2 : 다리의 2번 관절
- $length 1$: 공의 중심에서 Ja_1 까지의 거리를 월드 좌표계의 z 축에 투영시킨 길이
- $length 2$: 공의 중심에서 Ja_1 까지의 거리를 월드 좌표계의 x 축에 투영시킨 길이
- $length 3$: Jl_2 에서 Ja_1 까지의 거리를 월드 좌표계의 z 축에 투영시킨 길이
- $length 4$: Jl_2 에서 Ja_1 까지의 거리를 월드 좌표계

의 x축에 투영시킨 길이

- X_w, Y_w, o_w : 로봇 월드 좌표계의 X, Y 축과 원점
- $ball_x$: o_w 에서 공의 중심까지의 거리를 월드 좌표계의 x축에 투영시킨 길이
- $x(arm_to_world)$: o_w 에서 Ja_1 까지의 거리를 월드 좌표계의 x축에 투영시킨 길이
- $z(arm_to_world)$: o_w 에서 Ja_1 까지의 거리를 월드 좌표계의 z축에 투영시킨 길이
- $ball_z$: o_w 에서 공의 밑면까지의 거리를 월드 좌표계의 z축에 투영시킨 길이
- $ball_radius$: 공의 반경
- $x(2_to_world)$: Jl_2 에서 o_w 까지의 거리를 월드 좌표계의 x축에 투영시킨 길이
- $z(2_to_world)$: Jl_2 에서 o_w 까지의 거리를 월드 좌표계의 z축에 투영시킨 길이

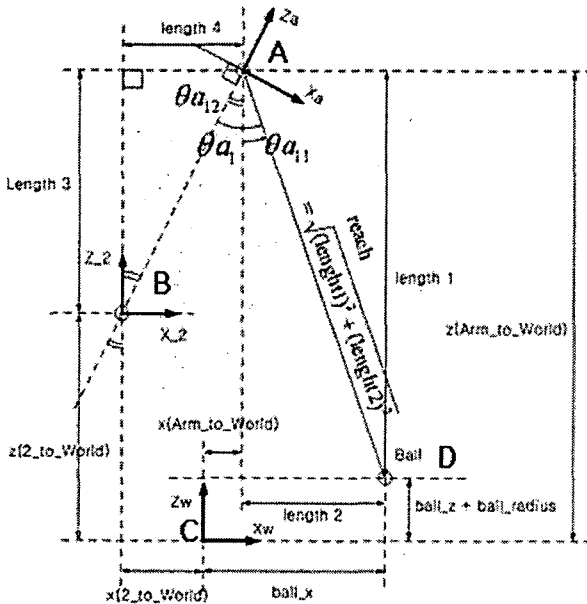


그림 5 팔의 첫 번째 관절에 대한 역기구학 해석
Fig. 5 Inverse kinematics for the first joint of the arm

어드레싱 동작에서는 로봇이 공을 치기에 편리하도록 미리 설정된 위치로 이동하여 자세를 취하고, 골프채를 공의 중심부에 위치시키게 된다. 따라서 로봇 팔의 2, 3, 4관절은 미리 설정된 값을 갖게 되며, 로봇 팔의 첫 번째 관절에 대한 역기구학만을 해석하면 된다. 팔의 첫 번째 관절값인 Ja_1 의 각도는 공의 위치와 다리관절(Jl_2)에 의해 변하게 되며, 그림 5에 기초하여 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_{a_1} &= \theta_{a_{11}} + \theta_{a_{12}} \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{length_2}{length_1}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{length_4}{length_3}\right) = \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\tan^{-1}\left(\frac{ball_x - x(arm_to_world)}{z(arm_to_world) - (ball_z + ball_radius)}\right) \\ &+ \tan^{-1}\left(\frac{x(arm_to_world) - x(2_to_world)}{z(arm_to_world) - z(2_to_world)}\right) \end{aligned}$$

3.2 스윙 동작

로봇이 어드레싱 동작을 끝나치면 스윙 동작을 수행하게 된다. 3.1절에서 구한 로봇 팔의 첫 번째 관절값을 고정하여 놓으면 골프채의 중심과 공의 중심이 일치하게 되며, 이 상태에서 로봇 팔의 2, 3, 4 관절(Ja_2, Ja_3, Ja_4)을 사용하여 스윙을 하게 된다. 그림 6은 스윙을 할 오른쪽 팔의 2, 3, 4 관절을 나타내고 있으며, 이를 로봇 파라미터들과 함께 그림 7에 다시 나타내었다. 이는 오프셋(offset) d_3 를 가진 3축 평면머니플레이터와 같이 해석할 수 있다. 그림에서 a_1, a_2 는 각각 로봇 팔의 첫 번째 링크 길이, 두 번째 링크 길이를 나타내며, a_3 는 머니플레이터의 세 번째 링크 길이와 골프채의 길이를 합한 길이를 나타낸다. 그림 6과 그림 7에서 A, B, C 점은 각각 같은 점을 나타낸다.

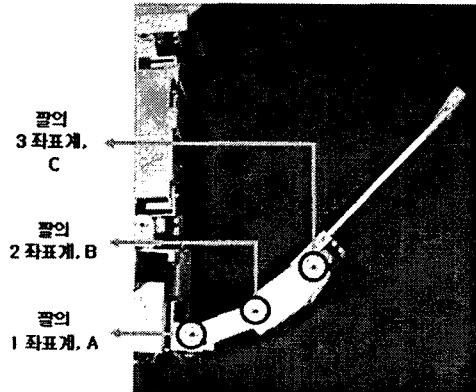


그림 6 로봇 팔의 2, 3, 4 관절.
Fig. 6 The second, the third, and the fourth joints of the arm.

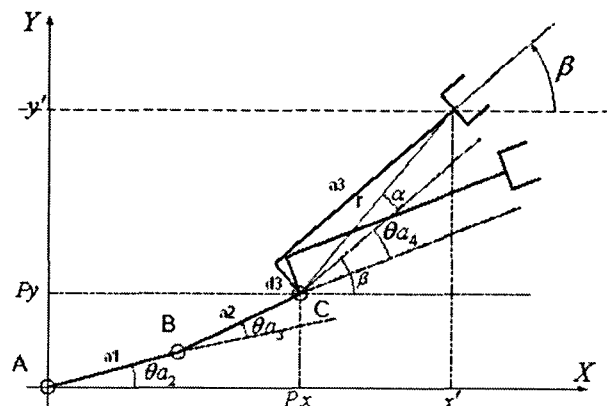


그림 7 로봇 팔에 대한 역기구학 해석
Fig. 7 Inverse kinematics for the arm

이 때, 팔의 관절 좌표계에 대한 동차 변환은 아래와 같다.

$$A_2 = T_1^2 = \begin{bmatrix} c_2 - s_2 a_1 c_2 \\ s_2 c_2 a_1 s_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_3 = T_2^3 = \begin{bmatrix} c_3 - s_3 a_2 c_3 \\ s_3 c_3 a_2 s_3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_4 = T_3^4 = \begin{bmatrix} c_4 - s_4 r c_{4a} \\ s_4 c_4 r s_{4a} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$r = \sqrt{(a_3)^2 + (d_3)^2}, c_{3a} = \cos(\Theta_3 + a), s_{3a} = \sin(\Theta_3 + a)$$

기준 좌표계와 말단장치인 골프채와의 관계를 나타내는 변환행렬은 아래와 같다.

$$T_1^4 = T_1^2 T_2^3 T_3^4 = \begin{bmatrix} c_{234} & -s_{234} & a_1 c_2 + a_2 c_{23} + r c_{234a} \\ s_{234} & c_{234} & a_1 s_2 + a_2 s_{23} + r s_{234a} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

따라서 골프채의 방향은 식 (2)와 같이 나타내어 진다.

$$\beta = \Theta_2 + \Theta_3 + \Theta_4 \quad (2)$$

골프채의 위치는 식 (3)과 같이 나타내어 진다.

$$\begin{aligned} x &= a_1 c_2 + a_2 c_{23} + r c_{234a} \\ y &= a_1 s_2 + a_2 s_{23} + r s_{234a} \end{aligned} \quad (3)$$

따라서 스윙을 하기 위해 골프채의 방향과 위치 (β, x', y')가 주어지게 되면 아래의 식 (4), (5)에 의해 P_x, P_y 를 구할 수 있다.

$$P_x = x' - r \cos(a + \beta) \quad (4)$$

$$P_y = y' - r \sin(a + \beta) \quad (5)$$

$$\text{여기에서 } r = \sqrt{(a_3)^2 + (d_3)^2}, a = \tan^{-1}\left(\frac{d_3}{a_3}\right)$$

이다.

식 (4), (5)에 의해 P_x, P_y 를 구하면, 각도 Θ_{a_3} 은 (6)과 같이 주어진다.

$$\cos \Theta_{a_3} = -\frac{P_x^2 + P_y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1 a_2} \equiv D \quad (6)$$

식 (6)의 해는 다음과 같이 주어진다.

$$\Theta_{a_3} = \tan^{-1}\left(\frac{\pm \sqrt{1 - D^2}}{D}\right) \quad (7)$$

한편, 스윙 동작을 하게 될 때 팔꿈치 하향의 자세를 계속 유지해야 하므로 $\Theta_{a_3} > 0$ 조건에 의해 해가 유일하게 결정된다. 또한

$$\Theta_{a_2} = \tan^{-1}\left(\frac{P_y}{P_x}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{a_2 \sin \Theta_{a_3}}{a_1 + a_2 \cos \Theta_{a_3}}\right) \quad (8)$$

$$\Theta_{a_4} = \beta - \Theta_{a_2} - \Theta_{a_3} \quad (9)$$

와 같이 구할 수 있다.

본 논문에서는 드라이브 샷(drive shot)과 퍼팅(putting)의 두 가지 종류의 스윙 동작을 구현한다. 드라이브 샷은 골프채가 공을 쳐 올리는 궤적을 가지며, 퍼팅은 골프채의 방향(orientation)을 일정하게 유지하면서 공을 미는 궤적을 가지도록 설정하였다. 그림 8은 스윙 경로 계획을 위한 팔과 공 좌표계에 대한 해석을 나타낸다. 그림의 지면은 로봇의 양 팔의 두 번째 관절의 원점들, 즉, 그림 4에서의 팔의 0좌표계의 원점들과 공의 중심의 세 점들로 이루어지는 평면을 나타내고 있다. 그림에서 사용한 파라미터는 다음과 같다.

- *Breast_width* : o_w 에서 Ja_1 까지의 거리를 월드 좌표계의 y축에 투영시킨 길이.
- *ball_y* : o_w 에서 공까지의 거리를 월드 좌표계의 y축에 투영시킨 길이.
- *x_ball, y_ball* : 공의 중심에 설정된 공 좌표계의 X, Y 축
- *X_LA0, Y_LA0* : 로봇 왼팔 첫 번째 관절 좌표계의 X, Y 축
- *X_RA0, Y_RA0* : 로봇 오른팔 첫 번째 관절 좌표계의 X, Y 축

그림 8에서 알 수 있는 바와 같이, 공 좌표계와 오른팔과 왼팔 (*Rarm, Larm*) 좌표계사이의 변환 관계는 다음과 같다.

$$T_{Rarm}^{ball} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & reach \\ 1 & 0 & Breast_width + ball_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{Larm}^{ball} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & reach \\ 1 & 0 & -Breast_width + ball_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

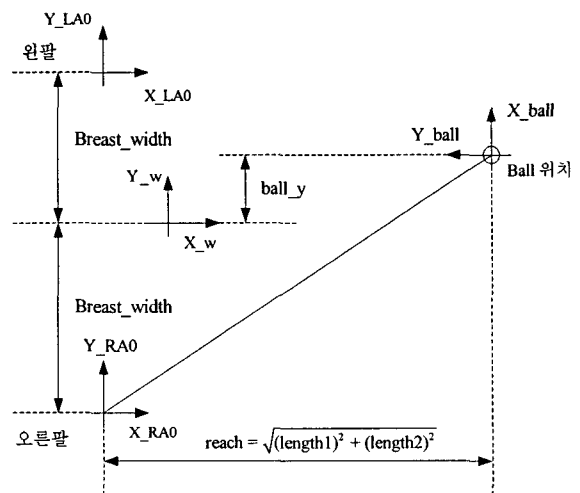


그림 8 스윙 경로 계획을 위한 좌표계
Fig. 8 Coordinates for swing path planning

여기에서는 골프채를 잡은 오른팔만을 사용하여 스윙 동작을 하도록 하며, 그 과정은 다음과 같다. (1) 그림 8과 같

이 공이 놓인 곳을 원점으로 잡고, 공 좌표계를 설정한다. (2) 스윙 경로는 공 좌표계의 원점을 지나도록 공 좌표계에서 설정한다. 드라이브 샷의 경우는 곡선의 궤적 $y=ax^2$, or $y=ax^4$ 으로 설정하고, 퍼팅의 경우는 직선의 궤적 ($y=0, x=-b \sim b$)으로 설정한다. 위의 두 경우 모두 x 좌표는 시간의 함수로 주어지며, 변수 a, b 는 모두 사용자가 설정할 수 있는 값으로 이 값들을 조절하여 적절한 스윙 궤적을 생성하게 된다. 그러면 공 좌표계에서 시간 t 에 따른 일련의 x, y 좌표가 결정된다. 또한 한 번의 스윙에 소요되는 시간을 조절함에 따라 스윙속도를 결정할 수도 있다. (3) 이 좌표를 변환행렬인 T_{Rarm}^{ball} 행렬을 사용하여 오른팔 좌표계에서의 x, y 값으로 변환한다. (4) 그림 7에서의 역기구학 해석을 이용하여 각 순간(Sampling time)마다 팔 관절의 각도를 구한다.

4. 골프 알고리즘

4.1 다양한 시야 및 영상 처리

골프에서 로봇과 공, 폴대(홀) 사이의 상대적인 위치관계는 매우 다양하게 주어질 수 있다. 이러한 다양한 상황에서 대상물들을 찾기 위해서는 로봇이 다양한 시야를 가지고 있어야 한다. 본 연구에서는 목의 2 자유도를 이용하여 8개의 시야를 미리 설정하여 놓았다. 또한 8개의 시야에 대하여 각각 카메라 켈리브레이션 작업을 수행하였고, 각 시야 내에서 공과 홀이 모두 $z=0$ 인 바닥면에 있다고 가정함으로써, 로봇에 부착된 한 개의 칼라 CCD 카메라를 사용하여 3차원 위치 정보를 얻을 수 있다. 그림 9는 미리 설정해 놓은 8개의 로봇의 시야를 나타낸다. 그림 (a), (b), (c)는 먼 거리에서, (d)는 가까운 거리에서 폴대와 공의 정보를 얻을 때 사용하고, 그림 (e), (f), (g), (h)는 골프 동작 중에 퍼팅을 할 때 폴대와 공의 정보를 얻기 위해 사용한다. 영상 처리는 칼라에 기반하여 물체를 구별한다. 그림 10에 영상처리 과정에 대하여 나타내었으며, 픽셀 정보로는 중심의 좌표, 최하단 점의 좌표, 외접 사각형의 영역, 면적 등이 포함된다.

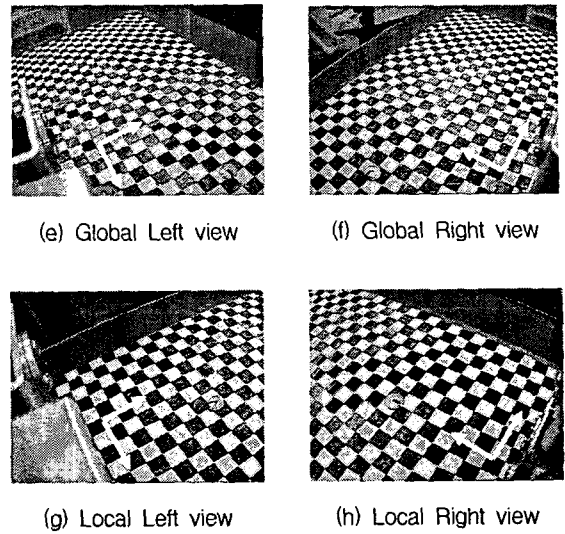
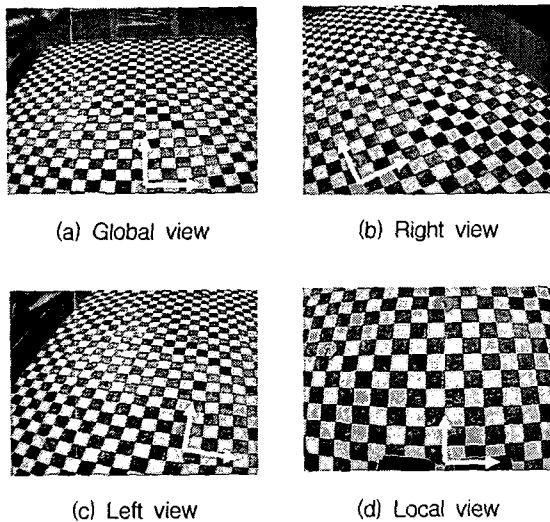


그림 9 로봇의 다양한 시야
Fig. 9 Various viewpoints of the robot

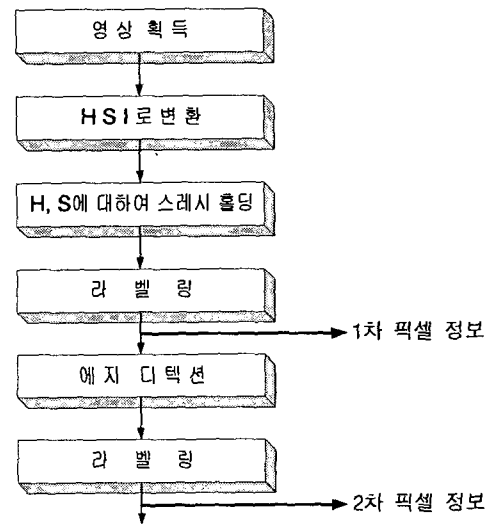


그림 10 영상 처리 과정
Fig. 10 Vision processing

4.2. 경로 계획

골프동작을 위해서는 위치이동과 회전동작을 하여야 한다. 로봇의 첫 번째 이동은 공의 위치를 알고 있기 때문에 드라이브 샷을 하기 위해 미리 정해진 위치까지의 이동이며, 두 번째 이동은 공의 위치가 임의로 주어지므로 퍼팅을 하기 위한 임의의 위치까지의 이동이다. 원하는 위치까지 이동한 이후에 로봇의 방향을 수정하기 위한 회전이동을 하게 된다. 로봇이 원하는 위치까지 이동하기 위한 방법에는 다양한 경로가 있는데, 본 연구에서는 최단거리로 이동하는 경로를 선택한다.

그림 11은 로봇이 원하는 위치까지 최단거리로 이동할 수

있는 경로에 대해서 나타내었다. CCD 카메라로 들어온 영상정보를 이용하여 폴대와 공의 위치정보를 얻고 나면 두 지점을 이어주는 직선(A)를 구할 수 있다. 그 다음 직선(A)와 직교하면서 공의 위치를 지나는 직선(B)와 공을 중심으로 특정 반경을 가지는 원(C)을 구하고, 직선(B)와 원(C)에 의해서 발생하는 2개의 교점 중에 x 값이 작은 것을 해로 결정하면, 그 해가 바로 로봇이 이동해야 할 목표 지점이 된다. 목표 지점에 도달하기 위한 최단거리를 보행 경로로 선택하고, 그림 3에 나타난 기본 보행 패턴들을 조합하여 실제 보행할 계획을 수립한다.

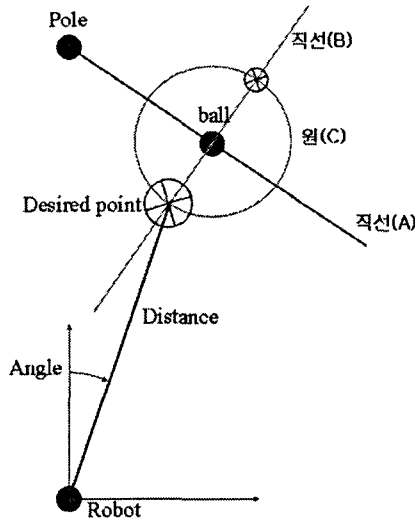


그림 11 최단거리 이동을 위한 경로 계획
Fig. 11 Path planning for the shortest distance

한편 로봇이 드라이브 샷을 하거나 퍼팅을 하기 위해서는 폴대와 공을 이어주는 직선(A)에 평행인 방향으로 자세를 유지하고 있어야 한다. 따라서 로봇이 위치 이동을 끝낸 후에는 회전 이동을 하여 적절한 방향을 갖도록 한다. 로봇 좌표계에서 직선(A)의 기울기를 구하면 로봇이 회전해야 할 회전각도(θ)를 그림 12에서와 같이 알 수 있다.

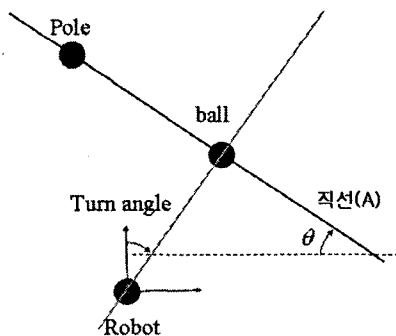


그림 12 회전 이동을 위한 회전각도 구하기
Fig. 12 Calculating the required turning angle

4.3. 실제보행에 대한 방향 및 경로 보정

2족 보행 로봇은 평탄하지 않은 지면과 고르지 않은 마찰력, 보행 시 발생하는 많은 내·외부적 불안정한 요소 때문에 보행 오차를 포함하게된다. 이러한 보행 오차를 줄이기 위하여 보행 중간에 멈추어서 고정된 위치에 있는 폴대와 공의 위치에 대한 정보를 얻어서 목표 위치와 방향을 수정하며 보행을 하게 된다.

그림 13은 이와 같은 위치 및 방향 보정 과정을 나타내고 있다. 로봇은 호스트 PC에서 생성된 경로 계획에 따라 보행을 하게 되는데, 보행 중 발생하는 오차를 수정하기 위해서 보행 중간에 자신의 위치 및 방향을 다시 한번 확인하여 방향 수정 및 경로 계획을 하여 퍼팅을 하기 위한 안정영역까지 이동하게 된다.

4.4. 골프 과정

로봇의 골프과정은 다음과 같다.

- (1) 호스트 PC에서 골프수행 명령을 전송
- (2) 카메라를 이용한 영상처리와 경로 계획(1차) → 물체를 찾지 못했을 때 물체 탐색
- (3) 로봇의 이동 및 드라이브 샷
- (4) 카메라를 이용한 영상처리와 경로 계획(2차) → 물체를 찾지 못했을 때 물체 탐색
- (5) 로봇의 이동 및 위치 확인에 의한 방향과 경로 보정 → 목표 지점에 위치할 때까지 반복수행
- (6) 퍼팅
- (7) 골프 종료

그림 14는 골프를 위한 알고리즘을 도시한 것이다.

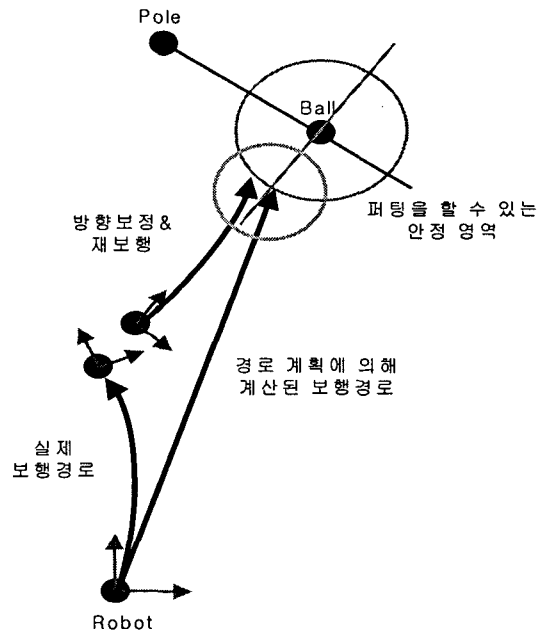


그림 13 실제 보행에 대한 방향 및 경로 보정
Fig. 13 Error correction and replanning

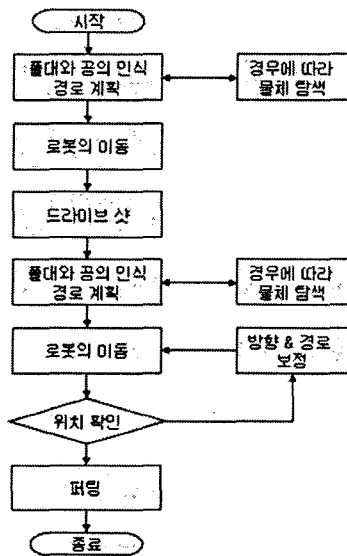


그림 14 골프를 하기 위한 과정
Fig. 14 Flowchart for golf algorithm

5. 실험

앞장에서 제안한 알고리즘에 따라 인간형 로봇의 자율적인 골프하기를 실험하였다. 경기장은 가로 201cm, 세로 122cm로 경기장의 한쪽에는 골프 홀의 역할을 하는 지름 12.5cm, 길이 8cm의 홀을 만들었고, 폴대는 지름 2cm, 높이 20cm의 원기둥의 형태의 파란색이며, 팀은 지름 2.2cm, 높이 5.2cm의 원기둥의 형태를 가진다. 공은 지름 40mm의 오렌지 색을 사용하였다.

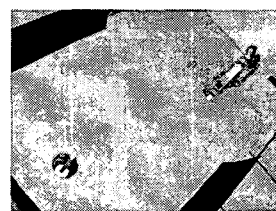
골프를 수행하라는 명령을 보내게 되면 로봇은 드라이브 샷을 하기 위해 영상처리 후 공에 접근한다. 드라이브 샷에서 클럽으로 공의 중심을 칠 수 있는 위치는 $(x=17, y=1)$ 로 설정하여 놓았다. 그림 15는 전체 골프 수행 과정을 나타낸 것이다. 그림 (a)에서는 로봇이 임의의 초기 위치에서 드라이브 샷을 하기 위해서 이동하는 과정이다. 표 1은 골프 수행 중에 로봇의 각 위치에서의 데이터를 표시하였다. 첫 번째 열은 로봇의 이동 차수를, 두 번째 열은 각 위치에서 로봇이 영상처리 결과 얻은 위치 데이터를, 세 번째 열은 실측한 위치 데이터를, 네 번째 열은 골프 알고리즘에 따라서 결정된 이동할 좌표와 각도를 그리고 마지막 열은 네 번째 열에서 주어진 경로를 실행하기 위한 로봇의 보행 패턴의 순서를 나타내고 있다. 로봇의 기본 보행 패턴은 그림 3에 나타내어져 있다.

최초 영상 처리 결과 공의 위치는 센서 오차를 포함하여 $(x=18, y=-2)$ 로 검출되었다. 따라서 로봇이 $(x=1, y=-3)$ 만큼 이동하여 공에 접근하게 된다. 이 때, 호스트 PC에서 생성한 보행 패턴의 조합에 따라, 로봇은 좌보행(그림 3의 d)후 반보 보행(그림 3의 b와 c)을 수행하였다. 이후 그림 (b)에서와 같이 드라이브 샷을 한다.

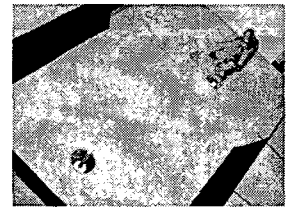
그림 (c) ~ 그림 (h)는 드라이브 샷 이후에 로봇이 공에 접근하여 퍼팅을 하는 과정을 보이고 있다. 퍼팅에서 클럽

으로 공의 중심을 칠 수 있는 위치는 $(x=12, y=-3)$ 으로 설정하여 놓았다. 그림 (c)와 그림 (d)에서는 이동해야 할 목표위치를 계산하기 위하여 영상 처리와 경로 계획을 한 후, 목표 위치에 접근하는 과정을 보이고 있다. 표 1에 이 과정에 대한 데이터를 표시하였다. 1차 이동시에는 폴대의 위치가 $(x=83, y=32)$, 공의 위치는 $(x=70, y=7)$ 로 검출되었고, 이 두 값에 의해서 로봇이 이동해야 하는 중간 좌표는 골프 알고리즘에 의해 $(x=43, y=20)$ 으로 계산되어지고, 따라서 로봇은 24°의 방향 전환후, 24cm의 이동을 수행해야 한다. 표 1의 마지막 열은 로봇이 수행한 보행을 순서대로 표시하고 있다. 1차 이동후 로봇은 다시 한번 폴대와 공의 위치를 검출하여 중간 좌표로 이동하게 되는데, 이 과정의 데이터는 표 1의 2차 행에 표시하였다.

그림 (e) ~ 그림 (h)는 정확한 퍼팅을 위해서 폴대와 공의 위치에 대해 로봇이 원하는 각도와 위치에 있게 하기 위해서 각도와 거리를 수정하면서 다가가는 부분이다. 이동시에 발생하는 오차를 줄이며 정확한 퍼팅지점에 도달하기 위해 수회 영상 처리를 하게 되며 그 결과에 따라 각도와 위치를 수정한다. 이 과정은 로봇이 공에 충분히 접근하였으므로 1, 2차에 비해 작은 거리와 방향 수정을 하게 된다. 이 과정에서의 로봇이 감지한 좌표들과 실제 좌표들, 그리고 로봇의 보행에 대한 데이터를 [표 1]에 3차 ~ 7차에 나타내었다. 6차 시도에서 공의 위치는 $(14, 0)$ 으로 감지되었고, 공의 위치가 $(12, -3)$ 이 되도록 하기 위하여 로봇은 $(x=2, y=3)$ 만큼 평행 이동을 하고, 회전 이동은 하지 않는다. 이를 달성하기 위하여 보행은 좌보행(그림 3의 d), 반보 전진 보행(그림 3의 b), 발 모으기 보행(그림 3의 c)의 순서로 보행을 한다. 골프 공과 홀, 로봇의 상대적인 위치를 다양하게 변화시키면서 다수의 실험을 수행한 결과 비슷한 결과들을 얻을 수 있었다.



(a) 드라이브 샷을 위한 이동



(b) 드라이브 샷



(c) 영상처리 & 경로 계획



(d) 방향과 경로를 보정하며 이동

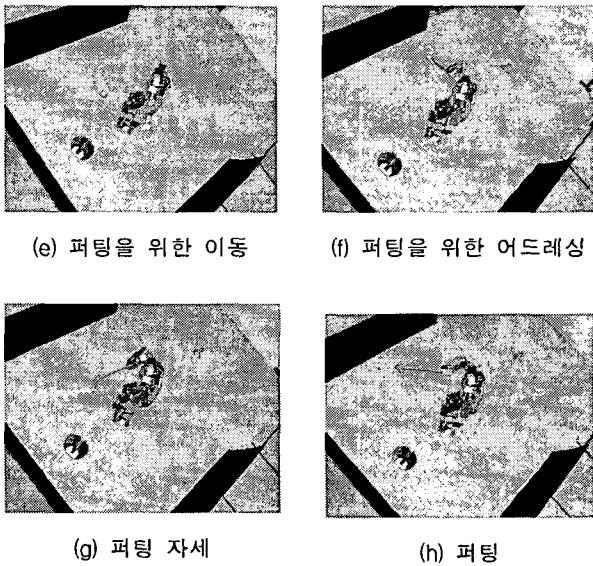


그림 15 로봇의 골프 실험
Fig. 15 Experiment for golf playing robot

표 1 골프 수행 시 물체들의 위치 및 로봇의 이동
Table 1 Positions of the objects and movements of the robot while playing golf

차수	폴대의 위치		공의 위치		이동할 좌표/각도	보행
	검출	(x, y)	검출	(x, y)		
1차	검출	(83, 32)	검출	(70, 7)	(43, 20) /24°	e-b-a-a -c-b-c
	실제	(90, 34)	실제	(76, 6)		
2차	검출	(69, 10)	검출	(48, -12)	(26, -7) /-16°	e-b-a-a -a-c-f-f
	실제	(76, 9)	실제	(52, -14.5)		
3차	검출	(25, 41)	검출	(23, 10)	(0, 17) /-3°	d-d-d -d-d
	실제	(27, 47)	실제	(25, 14)		
4차	검출안함		검출	(21, -6)	(9, -3) /0°	b-c-d -b-c
			실제	(23.5, -4.5)		
5차	검출	(19, 26)	검출	(14, -2)	(0, 0) /11°	e
	실제	(15, 32)	실제	(17, -2)		
6차	검출안함		검출	(14, 0)	(2, 3) /0°	d-b-c
			실제	(15, 1)		
7차	검출안함		검출	(12, -3)		퍼팅 수행
			실제	(12, -2)		

6. 결 론

본 논문에서는 총 22 자유도를 가지는 소형 인간형 로봇을 이용하여 골프를 수행하였다. 골프수행에 필요한 적절한 위치로의 이동 및 방향 전환을 수행하도록 하기위하여 다양한 기본 보행 패턴들을 구현하고 이를 조합하여 보행을 수행하도록 하였다. 하나의 칼라 CCD 카메라를 사용하여 카메라 캘리브레이션을 통한 3차원 위치정보의 획득을 하고,

변화하는 환경을 감지한 후, 이를 지능적으로 이용하여 골프를 수행할 수 있는 골프 알고리즘을 제안하고 실험을 통하여 검증하였다. 또한 골프에서 필요한 두 가지 종류의 스윙 동작을 위해 기구학적 해석을 통하여 로봇 팔과 골프채를 사용하여 스윙 동작을 수행할 수 있는 알고리즘도 제안하고 구현하였다. 실험을 통하여 제한된 환경내에서 로봇이 자율적인 골프 수행을 성공적으로 할 수 있음을 보였다.

본 논문에서는 골프 공의 위치는 변화하지만, 바닥면은 평탄한 환경에서의 골프를 다루었다. 로봇에 보다 높은 지능을 부여하기 위해서는 평탄하지 못한 바닥 또는 해저드와 같이 지형 지물의 변화가 있는 곳, 또는 장애물이 존재하는 곳 등과 같이 보다 복잡한 환경에서도 다리를 사용한 보행과 지능형 센서 처리, 팔을 사용한 머니플레이션 등이 가능할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

참 고 문 헌

- [1] Fumio Kanehiro, et al, "Development of a two-armed bipedal robot that can walk and carry objects," Proc. of IROS'96, pp. 23-28, 1996
- [2] Kazuo Hirai, et al, "The development of Honda humanoid robot," Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1321-1326, 1998
- [3] 이종원, "휴먼로봇 시스템 개발 사례," Proc. of KIEE. Vol. 47, No. 10, pp. 18-22, 1998
- [4] 노경곤, 공정식, 김진걸, "이족보행로봇의 궤적 추종 오차 감소를 위한 걸음새 분석," 제어자동화시스템공학 논문지 제8권, 제10호, pp. 890-897, 2002
- [5] Jong Hyeon Park, Hyun Chul Cho, "An on-line trajectory modifier for the base link of biped robots to enhance locomotion stability," Proc. of Int. Conf. On Robotics and Automation, pp. 3353-3358, 2000
- [6] 성영휘, 이수영, "소형 휴머노이드 로봇 시스템 개발," 제어,자동화,시스템 공학 논문지 제 7권, 제 5 호, pp. 420-426, 5, 2001.
- [7] T. Asfour, R. Dillman, "Human-like motion of a humanoid robot arm based on a closed-form solution of the inverse kinematics problemr", IROS2003 pp.1407-1412, October, 2003.
- [8] Y. Aishihama, K. Inoue, T. Arai, and Y. Mae, "Mobile manipulation of humanoid robots-control method for accurate manipulation," IROS2003 pp.1914-1919, October, 2003.
- [9] M. Jouaneh and P. Carnevale, "The development of an autonomous robotic system for playing mini-golf," IEEE Robotics & Automation Magazine, pp.56-60, 2003.

- [10] K. Watanabe and M. Hokari, "Kinematical analysis and measurement of sports form," IEEE Trans. on systems, man, and cybernetics, pp.549-557, 2006.
- [11] Seon-Ho Lim, Jeong-San Cho, Young Whee Sung, and Soo-Yeong Yi, " A miniature humanoid robot that can play soccer," ICCAS2003, pp.628-632, October, 2003.



조 동 권 (趙東權)

1962년 7월 16일생. 1986년 인하대학교 전자공학과 졸업. 1989년 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업. 1994년 8월 동 대학원 전기및전자공학과 졸업(공학박). 1994년 3월~1995년 2월고려대학교 전산학과 시간강사. 1998년 8월~1999년 7월 일본 NTT 객원연구원. 1994년 11월 ~현재 KT 미래기술연구소 수석연구원.
주관심분야 : 네트워크기반 로봇제어, 인터넷 환경에서 무선응용

저 자 소 개



김 종 우 (金鐘佑)

1978년 10월 20일생. 2004년 금오공과대학교 전자제어공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전자제어공학과 졸업(공학석사). 2006년~현재 LGPhilips -LCD(주) 연구원
주관심분야 : LCD display, Humanoid robot



차 철 (車 鐵)

1977년 1월 10일생. 2003년 금오공과대학교 전자제어공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전자제어공학과 졸업(공학석사). 2005년~현재 i3system(주) 주임연구원
주관심분야 : Capsule Endoscope, Humanoid robot



성 영 휘 (成永輝)

1962년 5월 20일생. 1988년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1991년 KAIST 전기및전자공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기및전자공학과 졸업(공학박). 1995년 9월~1996년 8월 영국 Oxford university 박사 후 연구원. 1996년~1998년 LG산전 선임연구원. 1998~현재 국립 금오공과대학교 전자공학부 부교수
주관심분야 : Humanoid robot, Redundant manipulator.