로봇 팔 및 몸체 메커니즘의 동적 운동특성 분석

Analysis on Dynamic Motion of Robotic Arm and Body Mechanism

김병호

Byoung-Ho Kim

경성대학교 메카트로닉스공학과 생체모방제어 및 로봇연구실

Bio-Mimetic Control & Robotics Lab., Dept. of Mechatronics Eng., Kyung Sung Univ.,
Busan, 608-736, Korea

요약

본 논문에서는 다양한 서비스를 제공할 수 있는 모바일 매니퓰레이션 시스템에 장착된 로봇 팔과 몸체 메커니즘의 동적 운동특성을 분석하고자 한다. 이 목적을 위하여 팔 및 몸체 메커니즘의 동특성 요소를 제시하고, 경로 추종 시뮬레이션을 통하여 이러한 요소들의 주요 동향을 확인한다. 또한, 이러한 요소들이 몸통, 어깨 및 팔꿈치 운동에 미치는 영향을 고찰한다. 이러한 분석은 로봇 팔과 몸체 메커니즘을 갖는 모바일 매니퓰레이션 시스템의 효과적인 조작행위를 위하여 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

키워드 : 로봇 팔 및 몸체의 동특성, 모바일 매니퓰레이션 시스템, 효과적인 조작행위

Abstract

This paper analyzes the fundamental dynamic motion of a robotic arm and body mechanism on the platform of a mobile manipulation system. For the purpose, we reveal the dynamic coefficients of a robotic arm and body mechanism, and identify their dominant behaviors in an exemplar trajectory following simulation. We also discuss on their influence for the motion of the body, shoulder, and elbow joints. It is finally expected that this analysis is helpful for effective manipulation tasks by using mobile manipulation systems with an arm and body mechanism.

Key Words : Dynamic motion of a robotic arm and body, Mobile manipulation system, Effective manipulation

1. 서론

모바일 매니퓰레이션 시스템(mobile manipulation system)이 공장 뿐만 아니라 가정, 병원, 공공장소 및 행성탐사 등에서 다양한 서비스를 제공하기 위해서는 기본적으로 이동기능, 조작기능 및 인지기능 등을 필요로 한다 [1]- [6]. 이 중에서도 이동기능을 위해서는 바퀴나 다리를 이용한 이동 메커니즘(wheeled or legged mobile platform) [5]이 활용되고 있고, 조작기능을 위해서는 사람의 어깨나 팔과 유사한 매니퓰레이터(manipulator)와 간단한 그리퍼(gripper)나 다지

손(gripper or multi-fingered hand) 등으로 구성되는 말단 장치(end-effector) [7]가 사용된다. 또한, 시스템의 이동 및 작업수행을 위해서는 작업환경 정보를 획득하고, 판단할 수 있는 정밀한 인지장치 [8]가 요구된다.

이러한 모바일 매니퓰레이션 시스템 연구와 관련하여, Morita 등은 사람의 형상을 기반으로 한 모바일 매니퓰레이션 시스템을 개발하였다 [1]. 이 시스템은 이동수단으로써 바퀴를 사용하였고, 사람의 몸통 및 양팔과 유사한 메커니즘을 사용하여 다양한 조작기능을 수행할 수 있도록 하였으며, 환경인지는 머리부분에서 주로 담당하는 구조로 설계되어 있는 것이 특징이다. 따

접수일자 : 2010년 9월 25일

완료일자 : 2010년 11월 29일

감사의 글 : 이 논문은 2010학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음

라서, 양팔을 이용하여 물체를 조작하기도 하고, 블록을 이동하는 등의 작업에 유용하게 활용될 수 있다. 그림 1은 미국항공우주국(NASA)에서 개발하고 있는 모바일 매니플레이션 시스템, Centaur 로봇 [3]으로서, 주로 야외작업(field works)에서 활용하기 위한 모바일 매니플레이션 시스템으로 알려져 있으나, 가정이나 병원 등에서도 인간의 생활기능을 보조하는데 활용될 수 있기 때문에 괄목할 만하다. 또한, 다리를 이용한 대표적인 모바일 메커니즘으로는 인간형 로봇 [9]- [11]을 들 수 있다. 이러한 모바일 매니플레이션 시스템은 광범위 작업공간에서 어떤 물체를 이동(delivery)하거나 조립(assembly)하는 등의 다양한 작업을 수행하기 위하여 팔과 몸체의 운동기능을 활용하게 되는데, 주어진 작업의 성능(work performance)은 직관적으로 이러한 두 부분의 상호운동 특성에 따라 상당히 다를 수 있다. 따라서, 이러한 모바일 매니플레이션 시스템을 이용하여 다양한 작업을 효과적으로 수행하기 위해서는 팔과 몸체 메커니즘의 상호운동에 의해 야기될 수 있는 동적특성을 분석할 필요가 있다.

따라서, 본 논문에서는 모바일 매니플레이션 시스템의 효과적인 작업수행을 위한 팔과 몸체 메커니즘의 상호운동에 따른 동적특성을 분석하고자 한다.

그림 1. 모바일 매니플레이션 시스템

Fig. 1. A mobile manipulation system

2. 모바일 매니플레이션 시스템 모델링

그림 1과 같은 모바일 매니플레이션 시스템은 조작성에서 볼 때, 이동 메커니즘(mobile platform)과 몸체(body), 팔(arm) 및 말단장치(end-effector)로 구성된 메커니즘으로 볼 수 있다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 그림 1과 같은 모바일 매니플레이션 시스템을 그림 2와 같이 모델링하였다. 여기서, 팔은 각각 1 자유도(degree of freedom)의 회전 관절(revoloute joint)인 어깨 관절(shoulder joint)과 팔꿈치 관절(elbow joint)로 구성되고, 두 관절의 상호운동에 의해 팔의 말단에서의 평면운동이 가능하며, 몸체는 몸통축에 대하여 좌우 회전운동이 가능하다.

그림 1과 2에서 보는 바와 같이, 어떤 모바일 매니플레이션 시스템을 이용한 작업수행은 모바일 플랫폼(mobile platform)의 동작과 팔, 몸체 및 말단장치의 종합적인 운동에 의해 이루어지는 것이 일반적이다 [5]. 여기서, 팔과 몸체의 운동은 전체 모바일 매니플레이션 시스템에 의한 조작행위의 인터페이스(interface)가

되기 때문에 주어진 작업수행에 있어서 매우 중요하다 [12] [13]. 특히, 사람과의 상호작용을 수행하는 경우에는 더욱 더 안정된 조작성능이 요구된다 [4]. 따라서, 팔과 몸체의 상호운동에서 나타나는 동적특성을 분석하는 것은 모바일 매니플레이션 시스템에 의한 효율적인 조작행위를 위하여 매우 의미있는 일이다.

그림 2. 팔과 몸체 메커니즘을 갖는 모바일 매니플레이션 시스템 모델

Fig. 2. Model of a mobile manipulation system with an arm and body mechanism

3. 팔 및 몸체 메커니즘의 운동특성

그림 3은 그림 2와 같은 모바일 플랫폼에 장착된 팔 및 몸체 메커니즘을 나타내며, DH(Danavit-Hartenberg) 표현방법을 적용하여 팔 및 몸체 메커니즘에 좌표계를 설정하면, 각 링크 파라미터(link parameters)는 표 1과 같이 나타낼 수 있다 [14]. 여기서, $\alpha_{i-1,i}$, $a_{i-1,i}$, $d_{i-1,i}$ 는 $i-1$ 좌표계로부터 i 좌표계로의 회전 및 이동을 표현해 주는 파라미터로서 각각 회전축(z)간의 회전 각, z 축 및 x 축간의 이동거리를 의미한다.

그림 3. 팔 및 몸체 메커니즘

Fig. 3. An arm and body mechanism

표 1. 링크 파라미터

Table 1. Link parameters

i	$\alpha_{i-1,i}$	$a_{i-1,i}$	$d_{i-1,i}$	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	90°	l_1	0	θ_2
3	0	l_2	0	θ_3
4	0	l_3	0	0

그림 3에서 몸체의 기준좌표계 O_0 에 대한 팔끝공간의 위치는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x(t) = l_1 c_1 + l_2 c_1 c_2 + l_3 c_1 c_{23} \quad (1)$$

$$y(t) = l_1 s_1 + l_2 s_1 c_2 + l_3 s_1 c_{23} \quad (2)$$

$$z(t) = l_2 s_2 + l_3 s_{23} \quad (3)$$

여기서, $c_i = \cos(\theta_i(t))$, $s_i = \sin(\theta_i(t))$, $c_{ij} = \cos(\theta_i(t) + \theta_j(t))$, $s_{ij} = \sin(\theta_i(t) + \theta_j(t))$.

또한, 팔 및 몸체 메커니즘의 운동방정식을 각 관절에 작용하는 힘과 모멘트를 반복적으로 구하는 방법으로 유도하면, 다음과 같이 기술할 수 있다 [14].

$$I\ddot{q} + A\dot{q}^2 + B\dot{q}_{ij} + Cg = \tau - J^T f \quad (4)$$

여기서, τ 는 몸체와 팔을 구동하기 위한 관절의 토오크 벡터(joint torque vector)이고, q 는 관절각 벡터(joint angle vector), $\dot{q}$ 는 관절각 속도 벡터(joint angular velocity vector), $\ddot{q}$ 는 관절각 가속도 벡터(joint angular acceleration vector), $\dot{q}_{ij}$ 는 두 관절각 속도 $\dot{q}_i$ 와 $\dot{q}_j$ 의 곱을 의미하는 벡터이며, g 는 중력가속도 성분을 포함한 중력 벡터(gravity vector)를 나타낸다. 이러한 각 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = [\tau_1 \ \tau_2 \ \tau_3]^T \quad (5)$$

$$\dot{q} = [\dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2 \ \dot{\theta}_3]^T \quad (6)$$

$$\ddot{q} = [\ddot{\theta}_1 \ \ddot{\theta}_2 \ \ddot{\theta}_3]^T \quad (7)$$

$$\dot{q}_{ij} = [\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \ \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \ \dot{\theta}_3 \dot{\theta}_1]^T \quad (8)$$

$$g = [0 \ 0 \ 9.81]^T. \quad (9)$$

또한, I 는 시스템의 관성행렬(inertia matrix), A 는 원심력에 의한 성분행렬(coefficient matrix by centrifugal force), B 는 편향력에 의한 성분행렬(coefficient matrix by Coriolis force), C 는 중력에 의한 성분행렬(coefficient matrix by gravity)을 나타내며, J 는 시스템의 자코비안 행렬(Jacobian matrix), f 는 말단에 작용하는 외부 힘 벡터(external force vector)를 나타낸다. 각 링크(link)의 질량이 링크의 끝부분에 집중된 경우를 고려하면, 이러한 성분행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = \begin{bmatrix} i_{11} & 0 & 0 \\ 0 & i_{22} & i_{23} \\ 0 & i_{32} & i_{33} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & 0 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & b_{13} \\ 0 & b_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{23} \\ 0 & 0 & c_{33} \end{bmatrix} \quad (13)$$

여기서, 각 행렬의 성분요소는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i_{11} &= m_1 l_1^2 + m_2 (l_1 + l_2 c_2)^2 + m_3 (l_1 + l_2 c_2 + l_3 c_{23})^2 \\ i_{22} &= (m_2 + m_3) l_2^2 + m_3 l_3 (2l_2 c_3 + l_3) \\ i_{23} &= m_3 l_3^2 \\ i_{32} &= m_3 l_3 (l_2 c_3 + l_3) \\ i_{33} &= m_3 l_3^2 \\ a_{21} &= m_2 l_2 s_2 (l_1 + l_2 c_2) + m_3 (l_2 s_2 + l_3 s_{23}) (l_1 + l_2 c_2 + l_3 c_{23}) \\ a_{23} &= -m_3 l_2 l_3 s_3 \\ a_{31} &= m_3 l_3 s_{23} (l_1 + l_2 c_2 + l_3 s_{23}) \\ a_{32} &= m_3 l_2 l_3 s_3 \\ b_{11} &= -2\{m_2 l_2 s_2 (l_1 + l_2 c_2) + m_3 (l_1 l_2 s_2 + l_2^2 s_2 c_2 + l_2 l_3 s_{23} + l_1 l_3 s_{23} + l_3^2 s_{23} c_{23})\} \\ b_{13} &= -2m_3 l_3 s_{23} (l_1 + l_2 c_2 + l_3 c_{23}) \\ b_{22} &= -2m_3 l_2 l_3 s_3 \\ c_{23} &= (m_2 + m_3) l_2 c_2 + m_3 l_3 c_{23} \\ c_{33} &= m_3 l_3 c_{23} \end{aligned} \quad (14)$$

실제로, 이러한 성분요소들은 팔 및 몸체 메커니즘의 운동특성을 좌우하기 때문에 어떤 모바일 매니퓰레이션 시스템에 의한 조작행위의 성능에 근본적인 영향을 주게 된다. 따라서, 이러한 성분요소들의 동향을 파악하는 것은 매우 흥미있는 일이다.

4. 팔 및 몸체 메커니즘의 상호운동 시뮬레이션

본 장에서는 그림 3에 제시된 메커니즘에 대한 경로추종 시뮬레이션을 통하여 궁극적으로 3장에서 기술한 동적요소들이 몸통, 어깨 및 팔꿈치의 운동에 미치는 영향을 고찰한다. 또한, 구조적으로 결합되어 있는 팔, 어깨 및 몸통운동의 상호작용을 분석한다.

본 시뮬레이션에 사용된 팔 및 몸체 메커니즘의 파라미터는 표 2와 같다.

표 2. 팔 및 몸체 메커니즘의 파라미터
Table 2. Parameters of the arm and body mechanism

i	l_i (m)	m_i (kg)
1	0.2	0.8
2	0.3	0.6
3	0.25	0.4

그림 4(a)는 팔끝공간에서 설정된 3차원 운동경로 $p(x, y, z)$ 를 나타내고, 그림 4(b)는 각 축방향으로의 경로를 나타낸다. 이러한 운동경로에 대한 관절공간의 경로는 그림 5와 같다.

(a) 3차원 운동 경로

(b) 축방향 운동 경로

그림 4. 팔 및 몸체 메커니즘을 위하여 설정된 운동 경로
Fig. 4. Trajectory profiles assigned for the arm and body mechanism

그림 5. 관절공간의 운동 경로

Fig. 5. Trajectories at the joint space

그림 6은 주어진 운동경로를 추종하며 생성되는 팔

및 몸체 메커니즘의 관성요소(inertial coefficients)의 동향을 나타낸다. 그림 6(a)를 살펴보면, 몸통운동에 작용하는 관성요소(i_{11})의 크기가 가장 크고, 팔꿈치 관절에 작용하는 관성요소(i_{33})의 크기가 가장 작다. 여기서, i_{22} 는 어깨 관절에 작용하는 관성요소이며, 이러한 동향은 (4)와 (10)으로부터, 주어진 메커니즘의 구조에 의해 형성된 자연스러운 결과로 받아들여진다. 그림 6(b)에서는 팔 관절간에 작용되는 커플링(coupling) 관성요소를 확인할 수 있는데, 어깨 관절운동에 의해 팔꿈치 관절에 작용되는 커플링 요소(i_{32})는 유동적인데 비해 팔꿈치 관절운동에 의해 어깨관절에 작용되는 커플링 요소(i_{23})는 일정함을 확인할 수 있다.

(a) 축방향 요소

(b) 팔 관절간의 커플링 요소

그림 6. 팔 및 몸체 메커니즘의 관성요소

Fig. 6. Inertial coefficients of the arm and body mechanism

그림 7은 팔운동과 몸통운동에 의한 원심력 요소(centrifugal coefficients)의 동향을 나타낸다. 여기서, a_{21} 와 a_{23} 는 각각 몸통운동과 팔꿈치운동에 의하여 생성되는 원심력 성분으로서, 어깨 관절의 운동에 부방향(-)으로 작용하고, a_{31} 와 a_{32} 는 각각 몸통운동과 어깨 운동에 의하여 생성되는 원심력 성분이며, 팔꿈치 관절의 운동에 정방향(+)으로 작용함을 확인할 수 있다. 그림 8은 팔운동과 몸통운동에 의한 편향력 요소(Coriolis coefficients)의 동향을 나타낸다. 여기서, b_{11} 은 몸통운동과 어깨운동의 상호작용에 의하여 생성되는 편향력

성분으로서, 몸통 관절의 운동에 정방향(+)으로 작용하고, b_{13} 는 팔꿈치운동과 몸통운동의 상호작용에 의하여 생성되는 편향력 성분으로서, 몸통 관절의 운동에 부방향(-)으로 작용하며, b_{22} 는 어깨운동과 팔꿈치운동의 상호작용에 의하여 생성되는 편향력 성분으로서, 어깨 관절의 운동에 부방향(-)으로 작용함을 확인할 수 있다.

그림 7. 팔 및 몸체 메커니즘의 원심력 요소

Fig. 7. Centrifugal coefficients of the arm and body mechanism

그림 8. 팔 및 몸체 메커니즘의 편향력 요소

Fig. 8. Coriolis coefficients of the arm and body mechanism

그림 9는 팔운동에 의한 중력 요소(gravity coefficients)를 보여주고 있으며, c_{23} 와 c_{33} 는 각각 어깨 관절과 팔꿈치 관절의 운동에 주는 영향을 나타낸다. 그림 10은 어깨 관절에 작용하는 원심력과 편향력의 동향을 나타낸다. 결과적으로, 어깨 관절의 운동과 관련해서는 원심력에 의한 작용이 우세함을 알 수 있다.

또한, 그림 3과 같은 유형의 메커니즘에서는 (10)으로부터 팔이나 몸체의 운동에 의한 관성작용은 상호 독립적임을 알 수 있다. 따라서, 구조적으로 팔운동이나 몸통운동에 의한 관성특성은 각각의 운동특성에 영향을 미치지 않는다. 한편, 원심력 및 편향력 효과는 다르다는 것을 (11)과 (12)에서 알 수 있다. 원심력 효과

와 관련하여 살펴보면, 각 관절의 운동에 의하여 몸통 운동에 작용하는 원심력 효과는 없다. 그러나 몸통운동에 의하여 팔의 관절운동은 영향을 받으며, 팔의 관절운동은 그 관절에 이웃하여 연결된 관절들의 운동에 의해 영향을 받는다. 편향력 효과는 몸체 및 팔 관절의 상호속도에 의해 결정되는 것으로서, 몸통운동에는 몸통관절과 팔 관절간의 속도의 곱에 의한 영향이 나타나고, 어깨 관절운동에는 두 개의 팔 관절의 속도의 곱에 의한 영향이 있을 수 있으나, 팔꿈치 관절운동과는 무관하다. 중력에 의한 영향은 팔의 수직운동에 영향을 미치게 된다는 것을 (13)으로부터 확인할 수 있다.

그림 9. 팔 및 몸체 메커니즘의 중력 요소

Fig. 9. Gravity coefficients of the arm and body mechanism

그림 10. 어깨관절에 작용하는 원심력 및 편향력

Fig. 10. Centrifugal and Coriolis forces for the shoulder joint

5. 결론

본 논문에서는 이동형 로봇 플랫폼 위에 장착된 팔과 몸체 메커니즘의 상호운동에서 나타나는 동적특성을 분석하였다. 구체적으로, 팔과 몸체의 운동이 서로 독립적이면, 팔운동과 몸통운동에 의한 관성 커플링 현상과 몸통운동에 작용하는 원심력 효과는 나타나지 않는다. 따라서, 팔운동과 몸통운동에 의한 상호작용을 최소화할 수 있도록 팔과 몸체 메커니즘의 구조적인 설

계가 필요함을 알 수 있다. 또한, 몸통과 어깨를 활용하는 조작행위에서는 몸통, 어깨 및 팔꿈치운동에 의한 편향력 현상이 나타날 수 있으나, 팔꿈치운동만을 사용하는 조작의 경우에는 이러한 영향이 나타나지 않으며, 팔을 이용한 수직이동작업에서는 중력에 의한 영향이 매우 중요해진다. 특히, 어깨관절을 많이 활용하는 작업에서는 원심력 작용을 충분히 보상할 필요가 있다. 결과적으로, 이러한 특성분석은 다양한 조작행위를 수행하게 될 이동로봇이나 인간형 로봇의 효과적인 작업 수행에 유용하게 활용될 수 있다. 추가적으로, 이동상황을 고려한 모바일 매니플레이션을 위해서는 이동 메커니즘의 동특성을 고려한 시스템 모델링을 통하여 주어진 작업에 따른 조작행위의 특성분석이 필요하다.

참고 문헌

- [1] T. Morita, K. Shibuya, and S. Sugano, "Design and control of mobile manipulation system for human symbiotic humanoid: Hadaly-2," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1315-1320, 1998.
- [2] Y. Hada, H. Gakuhari, K. Takase, and E. I. Hemeldan, "Delivery service robot using distributed acquisition, actuators and intelligence," in *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2997-3002, 2004.
- [3] J. S. Mehling, P. Strawser, L. Bridgwater, W. K. Verdeyen, and R. Roverkamp, "Centaur: NASA's mobile humanoid designed for field work," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2928-2933, 2007.
- [4] M. Hans, B. Graf, and R. D. Schraft, "Robotic home assistant care-o-bot: past-present-future," in *Proc. of 11th Int. workshop on robot and human interactive communication (IEEE Roman 2002)*, pp. 380-385, 2002.
- [5] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, *Introduction to autonomous mobile robots*, The MIT Press, 2004.
- [6] P. Harro, T. Taipalus, J. Knuuttila, J. Vallet, and A. Halme, "Needs and solutions-home automation and service robots for the elderly and disabled," in *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3201-3206, 2005.
- [7] G. Hirzinger, J. Butterfass, M. Fischer, and M. Grebenstein, "A mechatronics approach to the design of light-weight arms and multifingered hands," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 46-54, 2000.
- [8] H. Surmann, A. Nuchter, and J. Hertzberg, "An autonomous mobile robot with a 3D laser range finder for 3D exploration and digitalization of indoor environments," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 45, pp. 181-198, 2003.
- [9] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, "The intelligent ASIMO: system overview and integration," in *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2478-2483, 2002.
- [10] I. W. Park, J.-Y. Kim, J. Lee, and J.-H. Oh, "Mechanical design of humanoid robot platform KHR-3 (KAIST humanoid robot-3: HUBO)," in *Proc. of IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots*, pp. 321-325, 2005.
- [11] I. Mizuuchi, T. Yoshikai, Y. Sodeyama, Y. Nakanishi, A. Miyadera, T. Yamamoto, T. Niemela, M. Hayashi, J. Urata, Y. Namiki, T. Nishino, and M. Inaba, "Development of musculoskeletal humanoid Kotaro," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 82-87, 2006.
- [12] Y. Yamamoto and X. Yun, "Effect of the dynamic interaction on coordinated control of mobile manipulators," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 12, No. 5, pp. 816-824, 1996.
- [13] R. Holmberg and O. Khatib, "Development and control of a holonomic mobile robot for mobile manipulation tasks," *Int. Jour. of Robotics Research*, Vol. 19, No. 11, pp. 1066-1074, 2000.
- [14] J. J. Craig, *Introduction to robotics mechanics and control*, 3rd. ed., Prentice Hall, 2004.

저 자 소 개

김병호(Byoung-Ho Kim)

2001년 : 한양대 전자공학과(공학박사)
 1995년 ~ 2001년 : 한국과학기술연구원
 지능로봇연구센터 학생연구원
 2002년 ~ 2004년 : Ritsumeikan대학(일본)
 로봇공학과 JSPS Post-Doctoral Fellow
 2004년 ~ 2005년 : RIKEN 생체모방연구센터(일본) 연구원

2005년 ~ 현재 : 경성대학교 메카트로닉스공학과 조교수
 2006년 ~ 2008년 : 한국퍼지 및 지능시스템학회 국제이사
 2009년 : 한국지능시스템학회 홍보이사
 2010년 ~ 현재 : 한국지능시스템학회 협력이사

관심분야 : intelligent legged & wheeled mobile manipulation, bio-mimetic robotic systems and humanoid robots, grasping and manipulation of dextrous robotic hands, soft manipulation, compliant arm control, hand/arm coordination, walking strategy, neural computation, etc.

E-mail : kimbh@ks.ac.kr