韓國 컴퓨터情報學會 論文誌
第13卷 第3號, 2008. 5.

2008-13-3-4-1

이동매니퓰레이터의 연속작업 수행을 위한 자세 제어 알고리즘에 관한 연구

김 종 익*, 유 경 택**, 강 진 구*

A Study on Posture Control Algorithm of Performing Consecutive Task for Mobile Manipulator

Jong-Iek Kim*, Kyeong-Taek Rhyu**, Jin-Gu Kang*

요 약

이동매니퓰레이터의 중요한 특징은 잉여의 자유도가 부과되므로 여러 모드의 이동을 가능하게 하고 다양한 작업을 수행할 수 있다. 본 논문에서는 이동로봇과 작업로봇이 결합된 형태를 이동매니퓰레이터라 정의하고 두 로봇이 협동하여 연속적인 하나의 작업을 수행할 때 최적의 자세를 유지할 수 있도록 한다. 이를 위하여 이동로봇과 작업로봇의 기구학을 해석하고 이를 바탕으로 이동로봇의 Mobility를 이용하여 이동로봇의 가중치를 조정하였다. 또한 이동매니퓰레이터의 최적의 위치와 자세를 조인트 변위량의 최소화 충분조건으로 정의할 때 움직임을 최소화시키는 방법으로 Gradient Method를 이용하여 작업의 최적화 기준을 검토하였다. 이동로봇과 결합된 매니퓰레이터는 PURL-II를 이용하여 제시한 알고리즘 실현과 결과가 논의된다.

Abstract

One of the most important features of the Mobile Manipulator is redundant freedom. Using it's redundant freedom, a Mobile Manipulator can move in various modes, and perform dexterous motions. In this paper, to improve robot job performance, two robots -mobile robot, task robot- are joined together to perform a job, we studied the optimal position and posture of a Mobile Manipulator to achieve a minimum of movement of each robot joint. Kinematics of mobile robot and task robot is solved. Using the mobility of a Mobile robot, the weight vector of robots is determined. Using the Gradient method, global motion trajectory is minimized, so the job which the Mobile Manipulator performs is optimized. The proposed algorithm is verified with PURL-II which is Mobile Manipulator combined Mobile robot and task robot, and the results are discussed.

▸ Keyword : Mobile Manipulator, Kinematics, Position Estimation, mobility

---

• 제1저자 : 김종익
• 접수일 : 2008. 2. 25, 심사일 : 2008. 3. 7, 심사완료일 : 2008. 3. 25.
* 극동정보대학 애니메이션과 부교수 ** 극동정보대학 컴퓨터정보과 부교수

I. 서 론

이동로봇은 작업 공간만을 늘려 주며, 작업 로봇은 고정 베이스 구조이므로 작업 공간이 제한적이다. 기존의 6축 이하의 자유도를 가지는 로봇의 경우 작용점의 작업 위치가 가능하더라도 로봇의 자세측면에서 볼 때 그 안정도가 낮아 효율적인 작업을 수행하기 어렵다[1][2]. 또한 하나의 연속된 작업에 대한 많은 해(Solution)를 가지므로 작업에 적합한 해를 구하기가 어렵고 제어방법에서의 어려움이 많으며 현실적으로 로봇의 사용은 실제 환경에서 로봇을 제어할 경우 많은 불확실성이 포함되어 있으므로 로봇의 활용도 측면에서는 큰 기대에 부흥하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 한계점을 극복하고자 본 연구에서는 이동로봇과 작업로봇을 직렬로 결합한 형태의 이동매니퓰레이터(Mobile manipulator) 시스템을 구성하였다. 이는 잉여관절들을 효율적으로 사용하고 연속 작업에 적합한 자세를 갖추어 작업을 수행하고 안정된 작업 자세를 가질 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 제작된 이동매니퓰레이터는 이동능력(Mobility)과 작업능력(Manipulation)을 가지고 유용한 작업을 수행할 수 있는 로봇이라 정의한다. 제작된 이동매니퓰레이터는 6자유도 이상을 가지는 고정베이스 구조의 잉여로봇과는 다른 특이한 기구학적인 잉여 자유도를 발생시킨다. 따라서 이동성과 작업성을 결합하므로 여러 모드의 환경조건에서 효율적 작업을 수행하기 용이한 이점을 가진다.

그림 1은 본 논문에서 제작, 실험한 이동매니퓰레이터이다. 이동로봇은 구동륜(Wheel-driven)방식이고, 이동로봇의 무게 중심에 플랫폼이 상하로 움직일 수 있는 구조이다. 또한 작업로봇의 1축은 플랫폼의 중심에 고정되어 있다. 작업로봇은 5축을 가지고 있지만 위치를 결정하는 1축, 2축, 3축만 사용하여 제어하여 현재의 작업공간을 벗어난 다른 작업 공간으로 이동하여 작업을 수행할 때 로봇의 작업을 수행함에 있어서 최적 자세를 고찰하였다. 연구의 방향은 초기위치에서 목표위치까지 작업로봇이 작업공간에 포함되도록 이동로봇을 움직이고 Lyapunov 방정식을 이용하여 위치오차와 거리오차를 줄여가며 직선이 아닌 곡선으로 이동로봇이 주행을 한다[3]. 목표위치가 작업공간에 포함되어 작업로봇의 end-effector가 목표위치로 이동할 때에는 Manipulability Ellipsoid를 이용하여, 작업하는 방향으로 ellipsoid의 주축의 벡터를 위치시켜 작업로봇이 최적의 자세로 작업을 할 수 있도록 제어하였다.

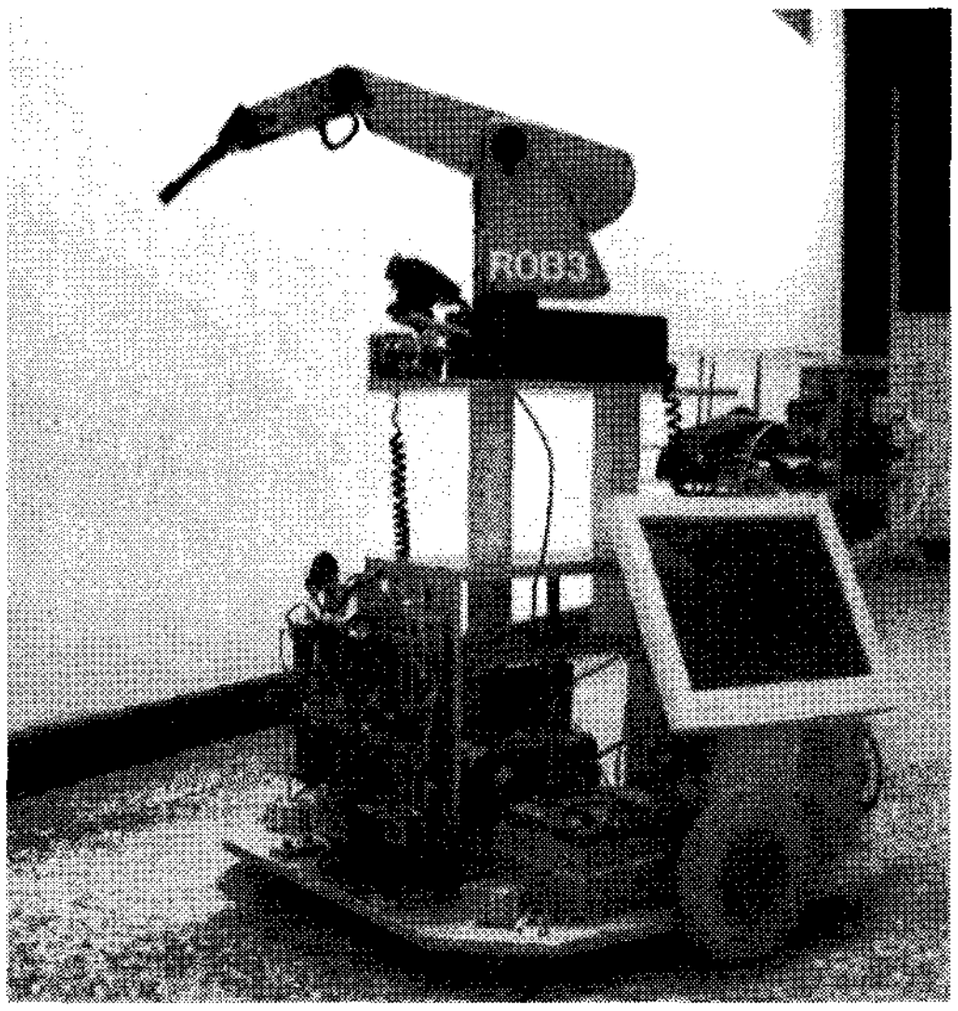


그림 1. 이동매니퓰레이터 PURL-II
Fig. 1. mobile manipulator PURL-II

II. 이동매니퓰레이터의 시스템 구성

2.1. 이동매니퓰레이터의 기구학 해석

독립적인 목적으로 설계된 두 개의 로봇이 결합하여 하나의 연속된 작업을 수행하기 위하여 각각의 로봇이 동시에 제어되어야 하므로 전체시스템의 기구학을 해석하여 제어 되어야 한다. 이동로봇은 non-holonomic 시스템이고, 작업로봇은 holonomic 시스템이므로 이동매니퓰레이터의 기구학은 속도기구학을 통해 이동로봇과 작업로봇을 결합한다[4][5]. 그림 2에서는 제작한 이동매니퓰레이터의 모델링을 나타내었다[5]. 작업로봇의 조인트 변수와 이동로봇의 조인트변수를

$$q_t = [\ q_{t1}\ \ q_{t2}\ \ q_{t3}\ \ q_{t4}\ \ q_{t5}\ ]^T$$

$$q_m = [\ q_{m6}\ \ q_{m7}\ \ q_{m8}\ \ q_{m9}\ ]^T$$

라 정의하면 이동매니퓰레이터의 시스템 변수는 식 (1)과 같다.

$$q = \begin{bmatrix} q_t \\ q_m \end{bmatrix} T = \left[q_{t1}\ q_{t2}\ q_{t3}\ q_{t4}\ q_{t5}\ q_{m6}\ q_{m7}\ q_{m8}\ q_{m9} \right] T \cdots (1)$$

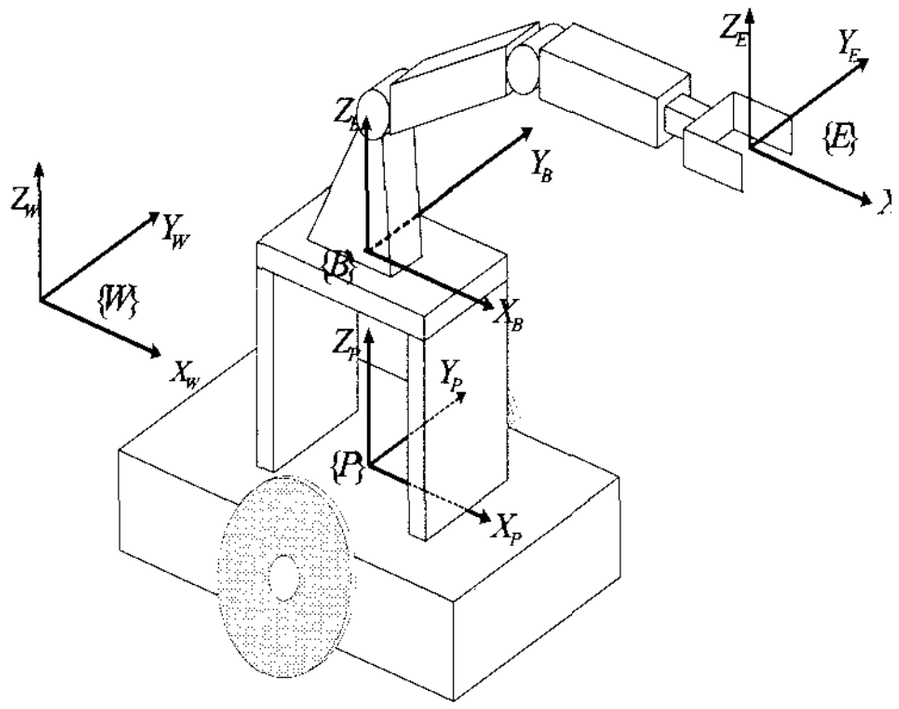


그림 2. 이동매니퓰레이터의 기구학 해석
Fig. 2. Kinematic analysis of the mobile manipulator

이동로봇의 각 축에 대한 조인트 변수에 의해서 형성되는 이동로봇의 End-effect의 위치(작업로봇의 베이스 위치)인 $P_B = [p_x\ p_y\ p_z\ \theta_m]^T$ 를 프레임 $\{B\}$로 설정하였다. ${}^W P_B$은 프레임 $\{W\}$에서 프레임 $\{B\}$까지의 위치벡터이다. 이동매니퓰레이터의 기구학은 우선 이동로봇은 3축이므로 조인트 변수 $\dot{\theta}_m$은 바닥 면의 고정 프레임에 대한 직교좌표 공간상에서 이동로봇의 선속도 ${}^W V_B$와 각속도 ${}^W w_B$, 조인트 변수 q_m은 식 (2)와 같이 나타난다.

$$ {}^w\dot{P}_B = \begin{bmatrix} {}^W V_B \\ {}^W w_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^W J_{B.v} \\ {}^W J_{B.w} \end{bmatrix} \dot{q}_m = {}^W J_B \dot{q}_m \quad \cdots\cdots (2) $$

(그림 2)에서와 같이 작업로봇의 조인트 변수 $\dot{\theta}_t$의 Jacobian을 프레임 $\{B\}$를 기준으로 {E}까지를 기술해 보면 식 (3)과 같이 나타난다.

$$ {}^B\dot{P}_E = \begin{bmatrix} {}^B V_E \\ {}^B w_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^B J_{E.v} \\ {}^B J_{E.w} \end{bmatrix} \dot{q} = {}^B J_E \dot{q}_t \quad \cdots\cdots (3) $$

따라서 각 로봇의 Jacobian이 ${}^W J_B$, ${}^B J_E$로 주어질 때, 이동매니퓰레이터의 {W}에서 {E}까지의 Jacobian은 식 (4)과 같다.

$$ {}^W\dot{P}_W = \begin{bmatrix} {}^W V_E \\ {}^W w_E \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} {}^W w_B + {}^W R_B\, {}^B V_E \\ {}^W R_B\, {}^B w_E \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots (4) $$
$$ = {}^W J_B \dot{q}_m + {}^W J_E \dot{q}_t = \begin{bmatrix} {}^W J_B & {}^W J_E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_m \\ \dot{q}_t \end{bmatrix} $$

${}^W R_B$은 $\{W\}$에서 작업로봇의 $\{B\}$까지의 회전변환행렬이다. 즉, 식(1)~식(4)에 의해 End-effect의 운동은 이동로봇과 작업로봇의 운동에 의해 공유되어 짐을 알 수 있다[6].

III. 시스템 운용 알고리즘

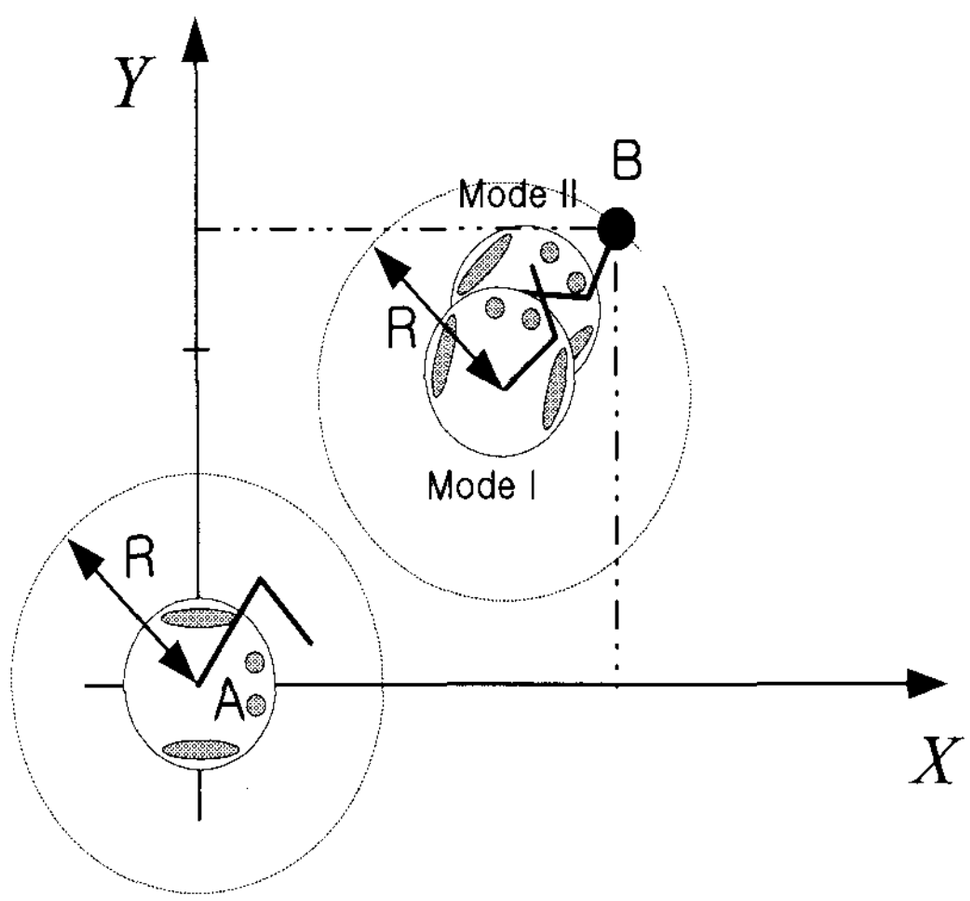


그림 3. 시스템 운용 알고리즘
Fig. 3. Algorithm of the System Operation

이동매니퓰레이터는 작업해야하는 end-effector의 최종위치(B점)가, 현재의 작업로봇의 작업공간 내에 존재한다면 고정 베이스 구조의 잉여로봇과 같다. 그러나 그림 3과 같이 B점이 현재의 작업공간 밖에 존재한다면 고정베이스 구조를 가지는 로봇은 할 수 없는 일을 이동매니퓰레이터는 할 수 있다. 이동매니퓰레이터는 이동로봇을 이용해서 B점을 작업로봇의 작업공간에 포함시키고(Mode I), 작업벡터를 정의하고, 그 작업벡터를 Manipulability Ellipsoid의 주축과 일치시키고, 이동로봇과 작업로봇이 협동하여 작업을 수행하면서 원하는 작업이 이루어진다(Mode II). 제안된 알고리즘을 이용함으로서 현재의 작업공간에 속하지 않는 작업을 할 수 있고, 작업에 대한 무한히 많은 해 중에서 작업로봇이 작업하기 좋은 자세를 가지는 해를 구할 수 있다.

3.1. 작업벡터(Task Vector)의 정의

작업벡터를 정의하기 위하여 연속된 작업에 대한 경로를 정의하면 식(5)와 같이 나타난다.

$$X_{traj(t)} = \left(x_d(t),\, y_d(t),\, z_d(t)\right) \quad \cdots\cdots (5)$$

식(2)에서 각 축에 대한 변화량을 벡터로 나타내면 식 (6)과 같이 나타난다.

$$X_{task(t)} = \left(\frac{dx_d(t)}{dt}, \frac{dy_d(t)}{dt}, \frac{dz_d(t)}{dt}\right) \quad \cdots\cdots (6)$$

그림 4는 특정한 trajectory에 대한 작업벡터를 표시하였다. 곡선은 trajectory이고, 직선은 각 포인터에 대한 작업벡터이다.

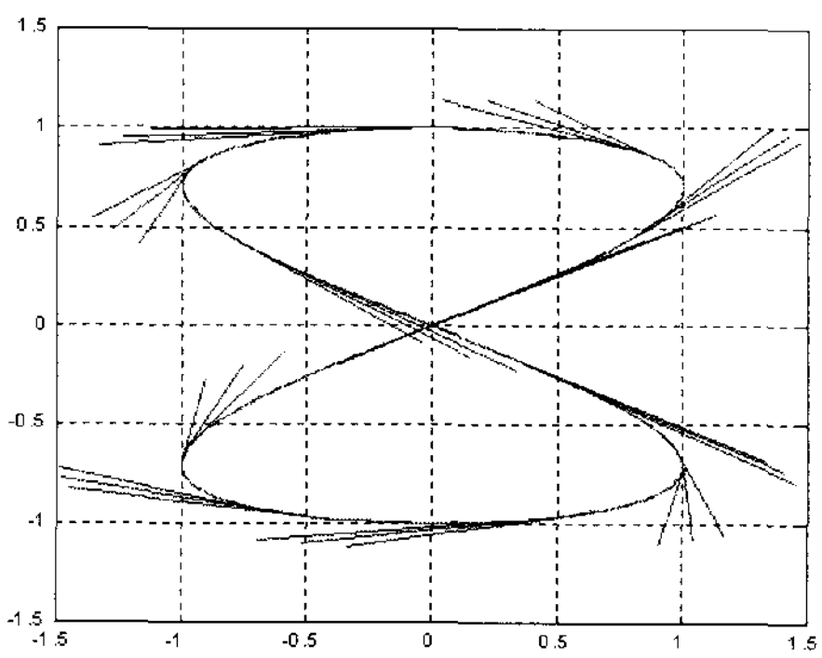


그림 4. 작업벡터의 정의
Fig. 4. Definition of Task vector

3.2. 이동로봇의 경로계획

이동로봇의 초기위치에서 작업공간까지의 위치이동과 자세를 취하기 위하여 그림 5와 같이 좌표계를 설정하였다. 현재위치 $X_i = (x_i, y_i)$에서 이동로봇이 출발하여 end-effector의 목표지점인 $X_d = (x_d, y_d) \in X_{traj}$가 작업 공간 내에 포함되는 위치 $X_p = (x_p, y_p)$까지 이동로봇이 진행한다. 현재 로봇방향을 ϕ, 현재위치에서 목적지점에 대한 방향오차 α, 목적지까지의 거리오차 e, 목적지점에서의 이동로봇의 방향을 θ라 할 때 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

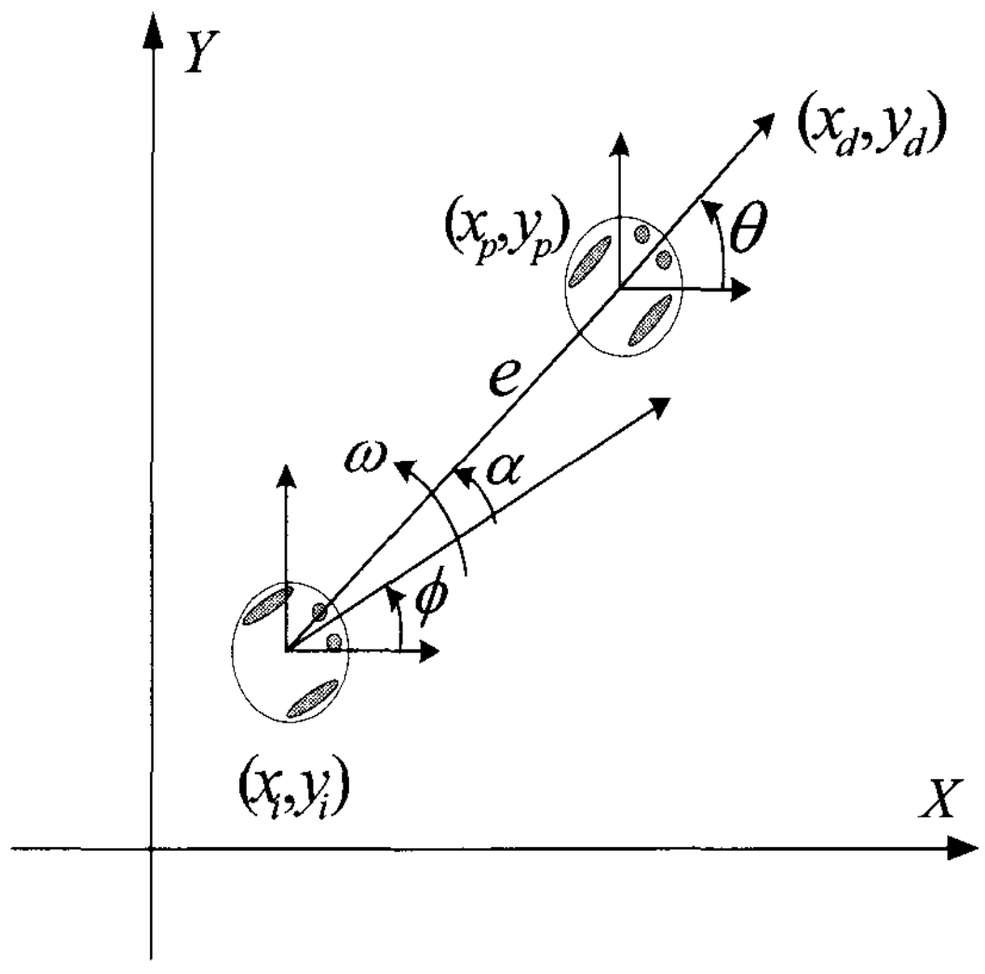


그림 5. 이동로봇의 위치이동
Fig. 5. Movement position of mobile robot

이동로봇은 X_i에서 X_p까지 진행하며 α와 e를 최소가 되게 하며, 목적지점에서 이동로봇의 방향이 θ가 되도록 할 때 e, α, θ는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$\begin{aligned} \dot{e} &= -v\cos a \\ \dot{a} &= -w + \frac{v\sin a}{e} \\ \dot{\theta} &= \frac{v\sin a}{r} \end{aligned} \quad \cdots\cdots (7)$$

식(7)이 최소가 되는 해를 구하기 위해 Lyapunov 방정식을 사용한다. 이때 Lyapunov candidate function은 식(8)과 같이 나타나 진다.

$$V = V_1 + V_2 = \frac{1}{2}\lambda e^2 + \frac{1}{2}(a^2 + h\theta^2) \quad \cdots\cdots (8)$$

식(8)에서 V_1은 거리에 대한 오차 에너지이며, V_2는 방향에 대한 오차에너지를 나타낸다. 식(8)양변을 시간에 대해서 미분하면 식(9)과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \lambda e\dot{e} + (a\dot{a} + h\theta\dot{\theta}) \quad \cdots\cdots (9)$$

식(9)에, 앞서 언급한 식(7)을 각각 대입하여 전개하면 식(10)과 같다.

$$\dot{V} = -\lambda ev\cos a + a\left[-w + \frac{v\sin a}{a}\,\frac{(a+h\theta)}{e}\right] \quad (10)$$

V 가 안정하게 수렴하기 위해서 $\dot{V} < 0$ 가 되어야 하며, 이를 만족하는 비선형 이동로봇 제어기를 식 (11)과 같이 설계한다.

$$v = \gamma(e\cos a),\ (\gamma > 1)$$
$$w = ka + \gamma\frac{\cos a\sin a}{a}(a + h\theta) \quad \cdots\cdots (11)$$
$$,(k, h > 0)$$

따라서 이동로봇 제어기에 의하여 $\dot{V}$는 식 (12)에서와 같이 $t \to \infty$ 일 때 e , $\alpha \cong 0$으로 수렴되며 $\phi \cong \theta$가 안정하게 수렴되는 조건을 만족한다.

$$\dot{V} = -\lambda(\gamma\cos^2 a)e^2 - ka^2 \le 0 \quad \cdots\cdots (12)$$

3.3. 이동매니퓰레이터의 경로계획 시뮬레이션

그림 6은 Mode I의 시뮬레이션 결과이다. 이동로봇의 초기 위치는 $X_i = (0.5\ ,\ 1\ ,\ 1)$이며, 초기의 X축과 이루는 각 ϕ는 $\pi/8$ (22.5。)로 설정하여 식(12)에 의하여 방향오차 α와 위치오차 e를 줄여가며 목표지점 $X_d = (10,\ 12,\ 1.3)$를 향하여 진행해 나간다. X_d가 작업로봇의 작업반경내로 들어오면 이동로봇은 X_p 에 멈추어 Mode I의 수행이 끝난다. 이 자세에서는 작업로봇의 end-effector가 X_d 에 위치할 수 있으나, 작업로봇이 다른 자세로 전환하기 어려운 특이자세(singularity)를 가지기 때문에 Manipulability Ellipsoid를 이용하여 이동매니퓰레이터를 Mode II로 진행한다. 현재 시뮬레이션의 좌표 값은 $X_p = (8.0998,\ 11.3923)$이고, 목표 지점 좌표 X_d 간의 거리는 $L = 1.9950$이고, 로봇과 X 축 간의 각인 $\theta = 0.7368\mathrm{rad}(42.21。)$이다.

Mode II에서 이동매니퓰레이터는 작업로봇의 베이스 좌표계의 위치가 이동로봇의 움직임에 따라 변화한다. 그러므로 이동로봇과 작업로봇이 합쳐진 역기구학만을 통한 작업계획은 로봇 자세에 따라 많은 해가 존재하게 된다. 많은 해 중에서 본 연구에서는 이동매니퓰레이터가 다음 작업을 하기 좋은 최적의 자세를 얻기 위하여 Manipulability Ellipsoid를 이용하여 작업로봇의 자세와 그에 따른 이동로봇의 $X_f = (x_f, y_f, z_f)$을 구한다.

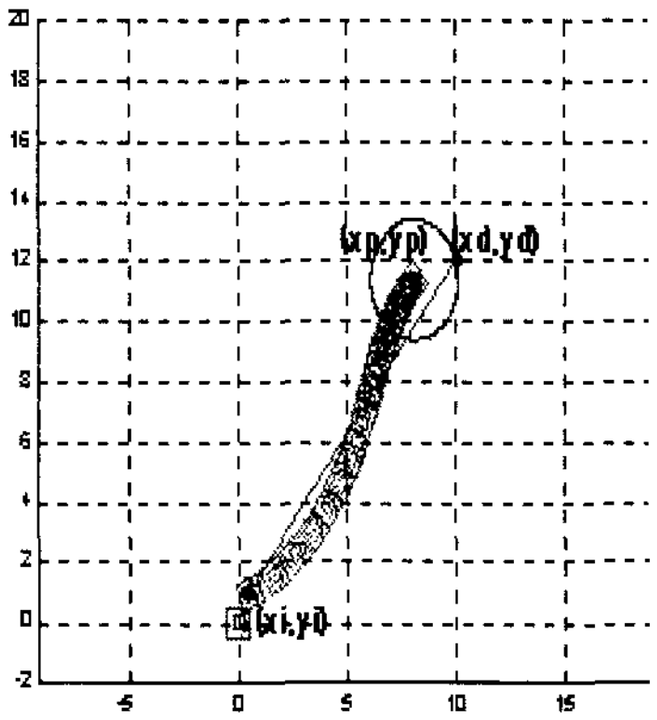
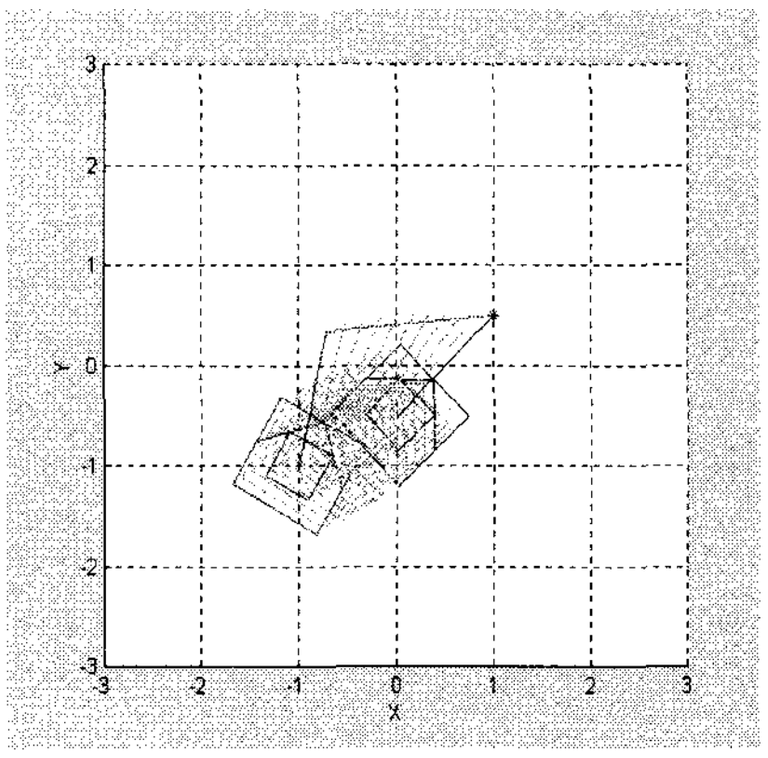


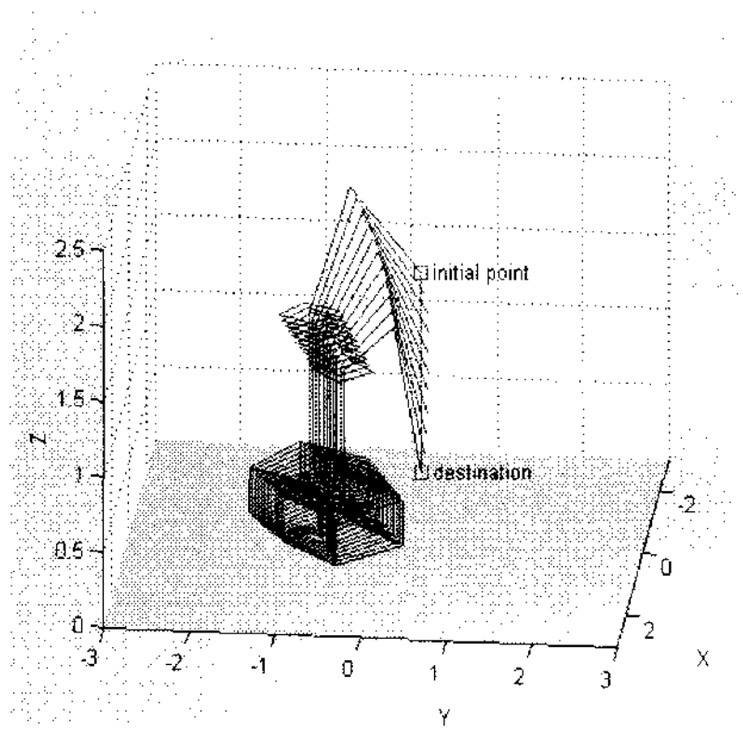
그림 6. Mode I 의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result of the Mode I

Manipulability Ellipsoid는 작업로봇의 전체 링크의 움직임의 합을 1로 두었을 때 end-effector가 그리는 타원모양의 궤적이다[7]. end-effector는 타원의 주축의 방향으로 가장 많이 움직이므로 주축의 방향으로 end-effector가 작업대상을 향해 움직이는 것이 효율적이다[8]. 따라서 작업벡터에 타원의 주축을 일치시킴으로서 작업로봇의 자세를 얻을 수 있다.

그림 7은 다른 각도의 시뮬레이션 결과이다. (a)는 위에서 보았을 경우이며 (b)는 옆면에서 보았을 경우이다. 3자유도를 가진 작업로봇과 3자유도를 가진 이동로봇과의 협동을 통해 End-Effector가 원하는 최종위치(1.0, 0.5, 0.7)에 도달하는 시뮬레이션을 여러 각도에서 보여준다. 시뮬레이션 조건은 이동로봇의 초기 위치 및 방향은 (-1.0, -1.0, 1.3, 60°)이고, 작업로봇의 자세는 (18°, 60°, 90°)이다.



(a)



(b)

그림 7. 이동매니퓰레이터의 최적 자세 제어(I)
Fig. 7. Optimal Configuration Control(I) for Mobile Manipulator.

Ⅳ. 실험

이동매니퓰레이터의 동작 조건에 대한 가정을 다음과 같이 설정한다.

1. 초기상태에서, 물체는 작업로봇의 End-Effector에 있다.
2. 이동로봇은 순수구름 조건과 미끌림 없음 조건을 만족한다.
3. 이동로봇의 경로에는 어떠한 장애물도 존재하지 않는다.
4. 전체 시스템에 외란은 존재하지 않는다.

작업로봇의 초기자세는 (18°, 60°, 90°)이고, 이로 인한 End-Effector의 좌표는 (0.02, 0.04, 1.3)이다. 이 위치로부터 이동매니퓰레이터는 물체를 (1.0, 1.5, 0.5)로 옮긴다. 첫 번째 단계에서는 이동매니퓰레이터(PURL-II)는 초기영역에서 작업영역으로 물체를 옮긴 후 작업로봇에 의해 물체는 원하는 위치에 놓여진다. 최종 작업 영역은 주어진 물체의 최종 위치와 작업로봇이 최종위치에서 원하는 자세에 의해 미리 설정되어진다. 이동로봇은 Aicardi 방법을 이용하여 작업로봇의 End-Effector를 작업영역으로 옮겨주며 앞서 제시한 Gradient 알고리즘을 통해 이동매니퓰레이터는 협동 제어모드를 통하여 최적의 자세로 작업을 수행하게 된다. 실험의 시나리오는 3절의 그림3에서와 같은 시나리오로 진행하였다. 표 1은 속도 누적 에러와 타이머 에러에 따른 원하는 이동로봇의 이동량과 방향 및 End-Effector의 최종위치와 실제 실험결과에 의한 이동로봇의 이동량, 방향 및 End-Effector의 최종위치와의 차이를 비교한 것이다. 그림 8은 실험의 결과로서 이동하는 상태를 연속으로 촬영하여 합친 영상이다.

표 1. 이동매니퓰레이터의 실험결과
Table 1. Experiment Result of Mobile Manipulator.

	θ_i	θ_f	x_{im}	y_{im}
설정위치	76.52°	88.16°	1.4	0.8
실제위치	79.45°	89.28°	1.8	1.1

	x_{fm}	y_{fm}	P_f
설정위치	0.4	0.5	(1, 1.5, 0.5)
실제위치	0.43	0.52	(1.2, 1.5, 0.8)

θ_i : 작업영역에 도달 했을 때의 이동로봇의 방향
θ_f : 협동제어모드 후의 이동로봇의 최종방향
x_{im}: 작업영역에 도달하는 동안의 이동로봇의 오른쪽 바퀴의 이동량
y_{im}: 작업영역에 도달하는 동안의 이동로봇의 왼쪽 바퀴의 이동량
x_{fm}: 협동제어모드 후의 이동로봇의 오른쪽 바퀴의 이동량
y_{fm}: 협동제어모드 후의 이동로봇의 쪽 바퀴의 이동량
P_f : 작업로봇의 최종위치

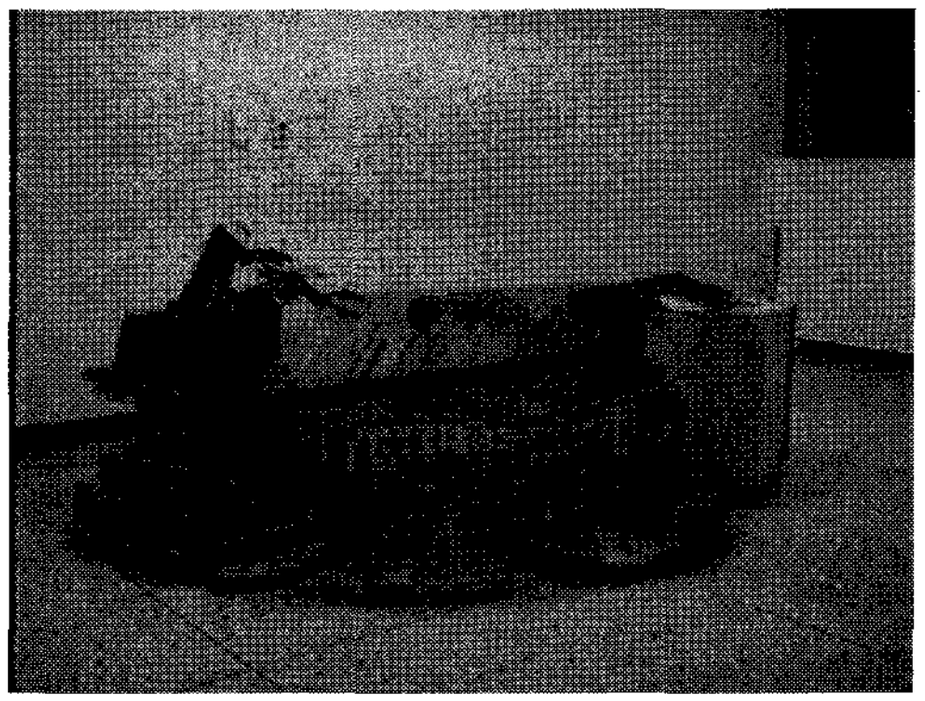


그림 8. 로봇 자세의 변화
Fig. 8. Response of Robot Posture.

설정위치와 실험결과의 차이는 실험공간의 바닥이 고르지 못하여 제어입력만큼 이동로봇이 움직이지 못한 오차가 발생하고, 속도제어를 통한 위치오차가 누적되어 발생하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 이동로봇과 작업로봇을 직렬 결합한 로봇을 이동매니퓰레이터라 정의하였다. 이동매니퓰레이터를 이용하면 고정 베이스 구조의 잉여로봇에 비하여 현재의 작업공간밖에 존재하는 작업에 대하여 유리하다. 본 연구에서는 이동로봇과 작업로봇을 결합한 이동 매니퓰레이터 시스템을 구성하여 시스템의 잉여관절들을 효율적으로 이용하여, 이동로봇의 구동으로 작업공간을 바꾸어 작업로봇이 작업을 수행하도록 두 가지 모드를 이용하여 제어하였다. 이동로봇은 Non-Holomic 시스템이고, 작업로봇은 Holonomic시스템이므로 이동매니퓰레이터를 구성하는 이동로봇과 작업로봇에 대하여 각각의 기구학을 해석하였으며 이동매니퓰레이터는 속도 기구학을 통하여 두 로봇을 결합하였다. 본 연구에서 이동매니퓰레이터의 잉여 관절들을 효율적으로 이용하여, 이동로봇의 구동으로 작업공간을 바꾸고 작업로봇이 최적의 작업 자세를 가지고 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 작업공간을 바기 위하여 이동로봇을 제어할 때 Lyapunov함수를 이용하여 거리오차와 방향오차를 최소화하였다. 작업 공간 내에서는 작업로봇이 Manipulability Ellipsoid를 이용하여 작업하기 적합한 자세를 취하고, 이동로봇이 그 자세로 작업로봇의 End-Effector가 목표지점까지 도달하도록 비용함수를 설정하여 제안된 알고리즘의 시뮬레이션과 실험을 하였다. 그러나 제안된 제어알고리즘의 제어성능은 우수하지만 외란이나 마찰 등에 따른 적응성으로 인하여 제어성능이 전반적으로 저하될 수 있다. 다양한 종류의 작업로봇의 베이스를 효율적으로 이동하여 최적의 자세를 가지고 작업을 수행하기 위해서는 현재의 기구학적 해석에 의한 제어알고리즘의 실현보다는 이동매니퓰레이터의 특성을 고려한 알고리즘의 연구가 수행된다면 구성된 이동매니퓰레이터 시스템의 제어를 보다 정밀하고 효율적으로 실현할 수 있어 다양한 작업을 능률적으로 수행이 가능할 수 있을 것으로 생각된다.

향후 과제로서는 속도제어에 대한 위치오차의 보정을 위하여 센서를 이용하여 정확한 위치제어가 필요하며, 이동로봇의 mobility를 이용하여 작업로봇의 Manipulability Ellipsoid와 함께 평가 함수를 만들어 협동제어를 실행할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Mark W. Spong, "Robot Dynamics and Control," John Wiley & Sons, 1989.

[2] Tsuno Yoshikawa, "Foundation of Robotics," MIT press, pp.133-135, 1990.

[3] Jin-Gu Kang, Tae-Seok Jin, Min-Gyu Kim and Jang-Myung Lee, "Optimal Configuration Control for a Mobile Manipulator," KSME International Journal, ISSN 1226-4865, Vol. 14, No. 6, pp. 605-621, June 2000.

[4] 황철호, 이상헌, 고재평, 이장명, "이동물체의 포획을 위한 최적 경로계획," 2003년도 제어자동화시스템공학회 합동학술발표대회 논문집, pp. 125-132, 2003/12/13.

[5] Jin-Gu Kang, Sang-Hun Lee, Cheol-Ho Hwang and Jang-Myung Lee, "Optimal path planning for the capturing of a moving object," ICCAS2004, August 25-27.

[6] Jin-Gu Kang, Kwan-Houng Lee, "A Study on the Configuration Control of a Mobile Manipulator Based on the Optimal Cost Function," KIMICS International Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 33-37, March, 2005.

[7] 강진구, 이관형, "분할-획득제어를 이용한 이동매니퓰레이터의 최적제어에 관한 연구," 한국해양정보통신학회, 제9권 6호, 2005.10.

[8] Jin-Gu Kang, Kwan-Houng Lee, Jane-Jin Kim, "A Study on Optimal Configuration for the Mobile Manipulator Considering the Minimal Movement,' ICIC, International Conference, pp1113-1124, August 2006.

저 자 소 개

김 종 익

2005년 9월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상예술박사과정 수료

2000년 ~ 현재 : 극동정보대학 애니메이션과 부교수

유 경 택

1990년 광운대학교 전자계산기공학과 졸업(공학석사)

2006년 원광대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)

1995년~현재 극동정보대학 컴퓨터정보과 부교수

강 진 구

2001년 2월 : 부산대학교 전자공학과 공학박사 졸업

2001년 ~ 현재 : 극동정보대학 애니메이션과 부교수