

---

# 분할-획득 제어를 이용한 이동매니퓰레이터의 최적 자세에 관한 연구

강진구\* · 이관형\*\*

## A Study on Optimal Configuration for Mobile Manipulator Using Divide-and-Conquer Control

Jin-Gu Kang · Kwan-Houng Lee

### 요 약

이동매니퓰레이터란 이동로봇과 작업로봇을 직렬로 결합하여 이동능력과 작업능력을 가지는 로봇이다. 이동매니퓰레이터의 중요한 특징중의 하나는 잉여의 자유도를 가진다는 것이다. 이를 이용하여 이동매니퓰레이터는 여러 가지 모드로 이동이 가능하고 다양한 작업을 수행할 수 있다. 이동매니퓰레이터는 고정베이스 구조의 로봇에 비해 넓은 작업공간과 특이자세 회피 및 장애물 회피에서 더 좋은 성능을 가진다. 두 대의 로봇이 협동하여 작업을 수행할 때 주어진 작업공간에서 여유자유도를 가지고 있는 이점을 이용하여 작업의 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문은 이동매니퓰레이터가 수행되어질 작업을 세분화 시키고 로봇의 작업 성능 지수를 사용하여 로봇이 최적자세로 작업을 수행할 수 있는 연구를 하였다. 제안된 알고리즘을 검증하기 위해 이동매니퓰레이터를 제작하였고, 실험에 사용한 이동매니퓰레이터 PURL-II는 3자유도를 가지는 이동로봇과 5자유도를 가지는 작업로봇으로 구성되어 있다.

### Abstract

Mobile manipulator is a robot that has mobility and manipulability with the combination of the task robot and mobile robot. One of the most important feature of the Mobile Manipulator is redundant freedom. Using the redundant freedom, Mobile Manipulator can move various mode, perform dexterous motion. It can have the wider workspace and better performance in avoidance of singularity and obstacle than the fixed base structured robot. Cooperation control using the Mobile Manipulator improves the performance of the robot with redundant freedom in workspace. In this paper, configuration control of the Mobile Manipulator has been studied using Task Segment and TOMM(Task-Oriented Manipulability Measure). For verifying the proposed algorithm, we implemented a mobile manipulator, PURL-II, which is composed of a mobile robot with 3DOF and a task robot with 5DOF.

### 키워드

Mobile Manipulator, Task Segment, TOMM.

---

\* 극동정보대학 방송영상미디어과 교수  
\*\* 청주대학교 전자정보공학부 전임강사

## I. 서론

이동로봇은 작업 공간만을 늘려 주며, 작업로봇만으로는 고정 베이스 구조이므로 작업 공간이 제한적이다. 이동매니퓰레이터란 이동능력(mobility)과 작업능력(manipulation)을 가지고 여러 가지 작업을 수행할 수 있는 로봇이라 정의한다. 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. 그러나 하나의 작업에 대한 많은 해(Solution) 중에서 작업에 적합한 해를 구하기가 어려우므로, 제어방법에서의 어려움이 있다[1]. 따라서 이동매니퓰레이터를 두 개의 이동로봇과 작업로봇으로 분할하여 그 분할된 두 개의 로봇을 협동적으로 제어하는 방법을 제안한다. 이러한 방법은 직렬로 연결된 로봇 시스템 혹은 재구성 가능한 로봇 시스템을 분석하는 방법으로 간주되어 질 수 있다. 이 분할된 잉여 로봇을 협동적으로 제어하는 것은 두 개의 상반된 작업의 요구조건, 즉 큰 범위에 대한 빠른 동작과 정확하고 빠른 정밀 동작을 충족하기 위해서는 필연적이다. 따라서 일의 목적에 따라 적절한 중간점(Elbow)을 선택해주고 이 중간점에 의해 구분된 이동로봇과 작업로봇에 적절히 작업을 분배시킴으로서 전체적인 작업의 효율성은 최적화 될 수 있다. 주어진 작업에 대해 중간점을 선택해 주는 일반적인 법칙은 없으나 중간점의 선택은 잉여 로봇의 구조를 분석하고 작업의 성질을 분석함으로써 행해질 수 있다.

## II. 제안된 알고리즘

### 1. 이동로봇의 경로계획

이동로봇의 초기위치에서 작업공간까지의 위치이동과 자세를 취하기 위하여 그림 1과 같이 좌표계를 설정하였다. 현재 위치  $(X_i, Y_i)$  에서 이동로봇이 출발하여 End-effect의 최종의 위치  $(X_d, Y_d)$  까지 이동로봇이 진행할 때 현재 로봇 방향을  $\phi$ , 현재위치에서 목적지점에 대한 방향오차  $\alpha$ , 목적지까지의 거리오차  $e$ , 목

적지점에서의 이동로봇의 방향을  $\theta$ 라 할 때 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

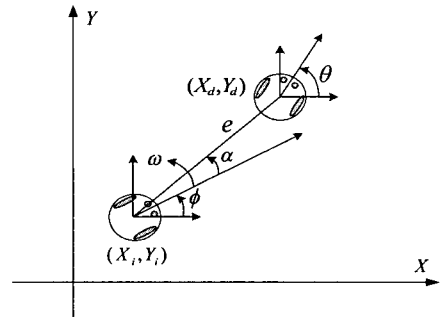


그림 1. 이동로봇의 위치이동  
Fig. 1 Movement of the position of the mobile robot

이동로봇은  $(X_i, Y_i)$  에서  $(X_d, Y_d)$ 까지 진행하며  $\alpha$ 와  $e$ 를 최소가 되게 하며, 목적지점에서 이동로봇의 방향이  $\theta$ 가 되도록 할 때  $e, \alpha, \theta$ 는 식(1)과 같다[4].

$$\begin{aligned} \dot{e} &= -v \cos \alpha \\ \dot{\alpha} &= -\omega + \frac{v \sin \alpha}{e} \\ \dot{\theta} &= \frac{v \sin \alpha}{e} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)이 최소가 되는 해를 구하기 위해 Lyapunov 방정식을 사용한다. 이때 Lyapunov Candidate Function은 식 (2)과 같다.

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

식 (2)에서  $V_1$ 은 거리에 대한 오차 에너지이며,  $V_2$ 는 방향에 대한 오차에너지를 나타낸다. 식 (2)양변을 시간에 대해서 미분하면 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \lambda e \dot{e} + (\alpha \dot{\alpha} + h \theta \dot{\theta}) \quad (3)$$

식 (3)에, 앞서 언급한 식 (1)을 각각 대입하여 전개하면 식 (4)과 같다.

$$\dot{V} = -\lambda e v \cos \alpha + \alpha \left[ -\omega + \frac{v \sin \alpha (\alpha + h \theta)}{e} \right] \quad (4)$$

$V$ 가 안정하게 수렴하기 위해서  $\dot{V} < 0$ 가 되어야 하며, 이를 만족하는 비선형 이동로봇 제어기를 식 (5)과 같이 설계한다.

$$v = \gamma (e \cos \alpha), \quad (\gamma > 0)$$

$$\omega = k \alpha + \gamma \frac{\cos \alpha \sin \alpha}{\alpha} (\alpha + h \theta)$$

$$, \quad (k, h > 0)$$

따라서 이동로봇 제어기에 의하여  $\dot{V}$ 는 식 (6)에 식과 같이  $t \rightarrow \infty$ 일 때  $e, \alpha \cong 0$ 으로 수렴되며  $\phi \cong \theta$ 가 안정하게 수렴되는 조건을 만족한다.

$$\dot{V} = -\lambda (\gamma \cos^2 \alpha) e^2 - k \alpha^2 \leq 0 \quad (6)$$

### 2. Task Segment의 정의

로봇에 주어진 일은 Artificial Constraints에 의하여 기술될 수 있다[5]. Artificial Constraints는 주어진 일의 환경 하에서 제어 가능한 (동작/힘)성분을 나타낸다. 즉 Task의 성질에 따라 Task Constrained와 Task Free 성분으로 나눌 수 있다. Task Constrained 성분은 로봇이 작업 수행 중 제어되어야 할 동작/힘을 나타내며 Task Essential 성분과 Task Dispensable 성분으로 구분된다. Task Essential 성분이란 동작/힘 성분 가운데 작업의 수행을 위하여 필요한 요소로 특정 값을 가지도록 제어되어야 하는 성분을 말하며 Task Dispensable 성분은 작업의 수행 중 항상 0으로 유지되거나 로봇제어에 있어서 필요치 않은 성분이므로 이때 일의 기술로부터 제외될 수 있다. 이는 특정한 작업을 위해서는 일반적으로 6축 이상을 갖는 로봇보다는 고유하게 설계된 2~3축의 로봇이 더욱 유용하게 활용될 수 있음을 보여준다. 또한 Task Free 성분이란 작업 수행 시 영향을 주지 않는 성분이라 정의한다. 일례로서 그림 2의 Peg-in-Hole 동작을 살펴본다면 다음과 같이 TS<sub>1</sub>의 이동작업, TS<sub>2</sub>의 조립작업으로 구성되어 있다.

1. 자유이동작업 : 임의의 위치로부터 Peg을 이동하여 삽입을 위해 적절한 위치로 이동 -> TS<sub>1</sub> = {V<sub>x</sub>, V<sub>y</sub>, V<sub>z</sub>, ω<sub>x</sub>, ω<sub>y</sub>, ω<sub>z</sub>}

2. 조립 작업 : 그 Peg을 Hole 에다 삽입 -> TS<sub>2</sub> = {f<sub>x</sub>, V<sub>y</sub>, f<sub>z</sub>, n<sub>x</sub>, ω<sub>y</sub>, n<sub>z</sub>}

여기서 v는 선형동작, ω는 회전동작, f는 힘, 그리고 n은 토크를 나타낸다.

조립작업의 수행을 위해서는 1. V<sub>y</sub>성분이 제어되어야 한다.(Task Essential 성분) 2. f<sub>x</sub>, f<sub>z</sub>, n<sub>x</sub>, 및 n<sub>z</sub> 성분은 영으로 유지되어야 한다.(Task Dispensable 성분) 3. ω<sub>y</sub> 성분은 일의 수행에 무관하다 (5) (Task Free 성분)는 사실을 알 수 있다.

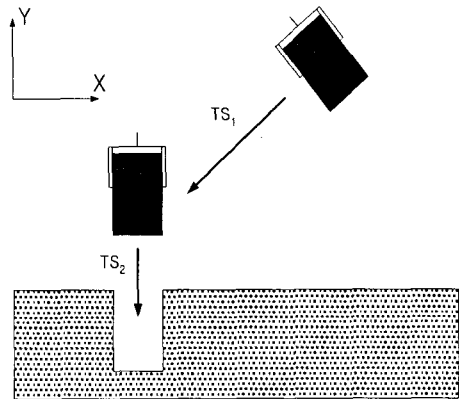


그림 2. Peg-in-Hole 동작  
Fig. 2. Peg-in-Hole Operation.

### 3. GME

로봇의 운동에 있어서 원하는 동작의 유연성은 주어진 Task가 Cartesian 동작 경로를 따라가며 다른 기하학적 파라메타로 결정되어 진다. 따라서 TOMM을 정의하기 앞서 <sup>a</sup>GME 와 <sup>a</sup>GME 를 정의해야 한다 [6]. 로봇 시스템은 그 기구학적 구조에 의해 직교좌표 공간에서 동작이나 힘을 발생시킬 수 있는 능력 및 효율이 결정되며 이를 정량적으로 표현하기 위하여 GME를 정의한다. m x n 자코비안 (Jacobian) 행렬 J는 로봇의 n 차 조인트(Joint)속도 벡터,  $\dot{\theta}$ 를 m 차의 직교좌표 속도 벡터  $\dot{X}$ 으로 맵핑 시켜준다. 즉  $\dot{X} = J \dot{\theta}$ 로 표현된다. 그리고 정적힘 F와 조인트 토크 τ와의 상관관계는 Virtual work 원리에 의해 식 (7)과 같이 주어진다.

$$\tau = J^T \cdot F \quad (7)$$

따라서 GME(Genera Manipulability Ellipsoid)란 이동 매니플레이터의 일 효율성을 Kinematic 성질에 따라 정량적으로 기술되어 정의되어야 한다. 즉 GME,  $f(\dot{x}_1 \dots \dot{x}_m)$ , 는 Joint 동작  $\|\dot{\theta}\| \leq 1$  에 의해 실현 될 수 있는 Cartesian 동작을 나타내는 하나의 m차 타원으로 정의 할 때, 식 (8)로 표현할 수 있다.

$$f(\dot{x}_1, \dots, \dot{x}_m) = X^T C X - 1 = 0 \quad (8)$$

여기서, Coloring Matrix C 는  $C \equiv U_s S^{-2} U_s^T$  로 정의되어진다.  $r(J)=m$ 인 경우 C 는 일반적인 Manipulability Ellipsoid의 정의에 사용되어  $(JJ^T)^{-1}$ 과 동일하다. 따라서 m차 타원도 로봇의 동작과 정적 힘 발생 능력 및 효율을 정량적으로 나타내기 위하여 적절히 사용되어 질 수 있다. 또한 로봇이 일정한 방향으로 동작을 효율적으로 발생시킬 수 있으면 이 로봇은 그 방향의 정적 힘을 효율적으로 제어하지 못한다. 따라서, 작업이란 하나의 원하는 Manipulability Ellipsoid에 의하여 기술될 수 있으며 이 Manipulability Ellipsoid는 Task요구를 주축의 길이로 나타내며 동작 성분들을 나타낼 수 있다. 그러므로 각각의 Task Segment별로 요구되어지는 Task 성분들로 m차 타원을 구성할 수 있으며 로봇의 기구학적 구조에 의해 GME가 타원에 가깝게 해중으로써 일을 수행할 때 효율성을 높일 수 있다. 여기서,  ${}^dGME$ 은 Desired Genera Manipulability Ellipsoid라 정의하고,  ${}^aGME$ 는 Actual Genera Manipulability Ellipsoid로 정의한다.

#### 4. TOMM

TOMM(Task-Oriented Manipulability Measure)는 주어진 작업에 요구되어지는 원하는 Manipulability Ellipsoid, 즉  ${}^dGME$ 와 실제 Manipulability Ellipsoid,  ${}^aGME$ 사이의 지수 차이를 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$TOMM = \sum_{i=1}^m ({}^d\sigma_i - \eta_i)^2 \quad (9)$$

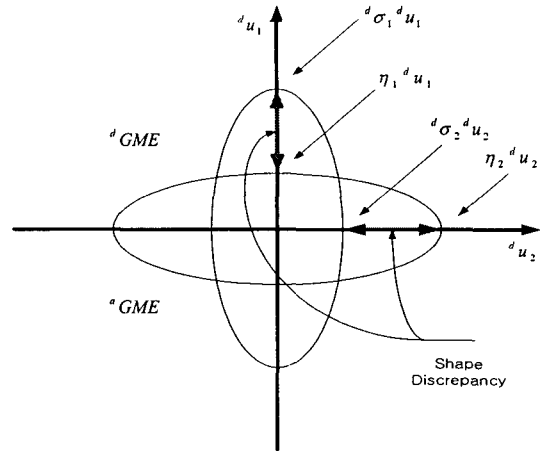


그림 3. TOMM의 정의  
Fig. 3 Definition of TOMM

그림 3은 TOMM을 정의하고 있으며  ${}^d\sigma_i$ 는  ${}^d u_i$ 를 포함하고 있으며 주축 방향으로 나타나는 주축의 길이를 나타내며  $\eta_i = ({}^d u_i^t C {}^d u_i)^{-1/2}$ 이다.  ${}^d\sigma_i$ 는 주어진 로봇의 능력과 일의 요구에 따라 결정되어진다.  ${}^d u_i$ 는 로봇 작업의 수행을 위하여 동작/힘 제어의 필연적인 방향이며, Task Essential성분으로 구성된다.  $\eta_i$ 는 로봇의  ${}^d u_i$ 의 방향을 따라 얻을 수 있는 실제 GME의 최대 또는 최소길이를 나타낸다. 따라서  $\eta_i$ 의 값은  ${}^d u_i$ 의 방향을 따라 동작/정적힘의 제어의 중요성에 따라 식 (10)과 같이 표현되어질 수 있다.

$$\eta = (1-a)\eta_{imax} + a \eta_{imin} \quad (10)$$

여기서  $0 \leq a \leq 1$ 이다.

### III. 실험 및 분석

1. 본 시뮬레이션에서는 작업로봇은 5축을 가지고 있지만 1축, 2축, 3축만 사용하기로 한다. 따라서, 1축, 2축, 3축은 Task Constrained 성분으로 분류하고, 4축, 5축은 Task Free 성분으로 분류한다. 각 링크의 길이와 각 관절각의 범위는 아래와 같다.

- 1)  $d_1=0.3, l_1=0.2, l_2=0.$
- 2)  $-80^\circ < \Theta_1 < 80^\circ, -35^\circ < \Theta_2 < 65^\circ,$   
 $-100^\circ < \Theta_3 < 0^\circ$

2. 주어진 작업은 다음과 같이 4개의 Task Segment 로 구성되어진다:

Task Segment 1 : Move from (0.16 , 0.45 , 0.7) to (1.16 , 0.45 , 0.7)

Task Segment 2 : Move from (1.16 , 0.45 , 0.7) to (1.16 , 0.45 , 1.0)

Task Segment 3 : Move from (1.16 , 0.45 , 1.0) to (0.16 , 0.45 , 1.0)

Task Segment 4 : Move from (0.16 , 0.45 , 1.0) to (0.16 , 0.45 , 0.7)

3. 각각의 Task Segment에 대해서 작업의 요구를 나타내는 작업로봇의 원하는 GME는 주축과 그 방향으로의 크기로 기술되어질 수 있다.

$({}^d\sigma_1, {}^d u_1, {}^d\sigma_2, {}^d u_2, {}^d\sigma_3, {}^d u_3)$ , 그 값들은 다음과 같이 주어진다.  ${}^d\sigma_1 = 1.0$   ${}^d\sigma_2 = 0.4$   ${}^d\sigma_3 = 0.4$  이며 항상 아래와 같다.

Task Segments 1, 3에서는

$${}^d u_1 = [1.0, 0, 0]^T, \quad {}^d u_2 = [0, 1.0, 0]^T,$$

$${}^d u_3 = [0, 0, 1.0]^T$$

Task Segments 2, 4에서는

$${}^d u_1 = [0, 0, 1.0]^T, \quad {}^d u_2 = [0, 1.0, 0]^T,$$

$${}^d u_3 = [1.0, 0, 0]^T$$

여기서,  ${}^d u_1$ 는 원하는 움직임의 방향이며,  ${}^d u_2$ 와  ${}^d u_3$ 는 그 방향과 Orthogonal 방향을 나타낸다.

작업로봇이 수평선을 그리고 있는 동안, 실제 TOMM 이 미리 설정된 TOMM 보다 클 때( $x=0.32, 0.62, 0.92(m)$ ), 이동로봇은 작업로봇이 수평선을 그린 위치만큼 이동하고 작업로봇은 다시 초기 자세를 취한다. 그림 4는 Task Segment 1에서의  ${}^dGME$ 와  ${}^aGME$ 의 차이 즉, TOMM을 보여주고 있다. 그림 4와 5에서 보듯이, 이동로봇과 작업로봇사이의 동적 협동 제어 점 ( $x=0.32, 0.62, 0.92$ )에서 TOMM 이 명백히 큼을 알 수 있다. 그리고  ${}^aGME$ 의 주축과 단축의 비가 클수록(타원

에 가까울수록) 일반적으로 작업로봇의 자세가 장축의 방향으로만 움직임이 용이하며, 자세 측면에서는 작업 영역 내에서 치우친 상태가 되므로, 이때 자세 안정도는 낮은 상태로 볼 수 있으므로 작업로봇의 베이스를 이동로봇을 이용하여 변화시키므로 서 이동매니플레이터가 안정되어질 필요가 있다.

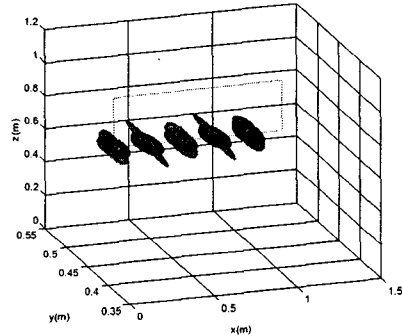


그림 4. Task Segment 1에서의 TOMM  
 Fig. 4 TOMM in the Task Segment 1

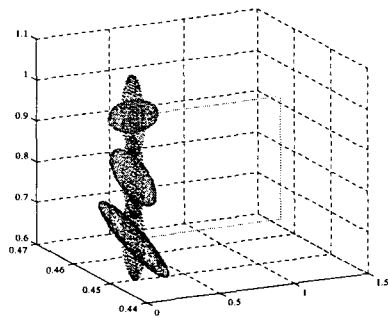


그림 5. Task Segment 4에서의 TOMM  
 Fig. 5 TOMM in the Task Segment 4

그림 6은 각 Task Segment에 대한 TOMM의 변화를 그래프로 나타내었다.

그림 6에서 보듯이 Task Segment 1, 3에서는 TOMM 이 급격히 증가한다. 작업로봇이 작업 영역을 벗어났거나, 설정된 TOMM의 값보다 작을 때이며, 또는 TOMM의 불연속점은  $TOMM^*$  (Reference of TOMM)에 이르러 이동로봇의 위치이동에 따른  $TOMM < TOMM^*$  의 값으로 변화된 것을 나타낸다.

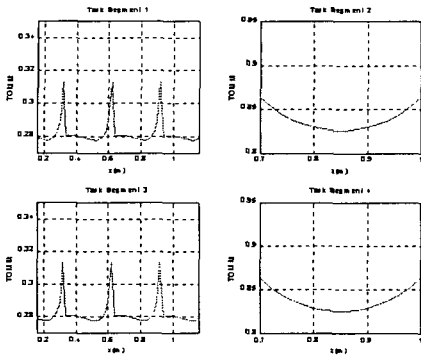


그림 6. 각 Task Segment에서의 TOMM 값  
Fig. 6 TOMM in each Task Segment

앞서 시뮬레이션과 같은 조건하에서 TOMM(Task segment 1, 3 :  $TOMM^* = 0.3$ , Task Segment 2, 4 :  $TOMM^* = 0.9$ )을 설정한다. 단, Task Segment 2, 4를 수행할 경우는 작업로봇의 정도를 고려해서 일정높이에서 이동로봇의 Z축을 사용한 협동 제어를 통해 원활하게 작업을 수행할 수 있도록 한다. 또한 작업로봇의 Workspace이내로 작업로봇의 베이스를 이동시키는데 있어서 작업로봇의 자세에 따라 결정되는 Manipulability를 설정하고 이 값에 따라서 이동로봇과의 제어과정이 이루어진다. 그림 7은 이 과정을 순서도 형식으로 나타내었다.

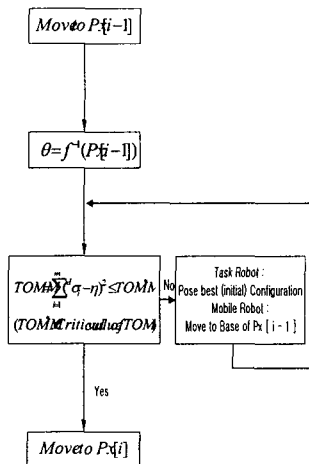


그림 7. 이동매니퓰레이터의 동적 협동의 흐름도  
Fig. 7. Flowchart of Dynamic Collaboration of the Mobile Manipulator.

그림 8은 각 Task Segment에서 협동 제어 점에서 두 로봇은 협동을 통해 연속적이고 원활하게 작업을 수행하는 이동매니퓰레이터의 연속동작을 보여주고 있다.

각 협동적 제어 수행의 지수로서 Manipulability Ellipsoid에 의한 TOMM을 사용하여 제어후의 작업로봇의 자세가 안정도 측면에서 효율적으로 개선되었으며 작업 영역 밖의 동작 수행은 이동로봇의 움직임으로 작업로봇의 작업영역을 변화시키므로써 작업을 안정적으로 수행할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

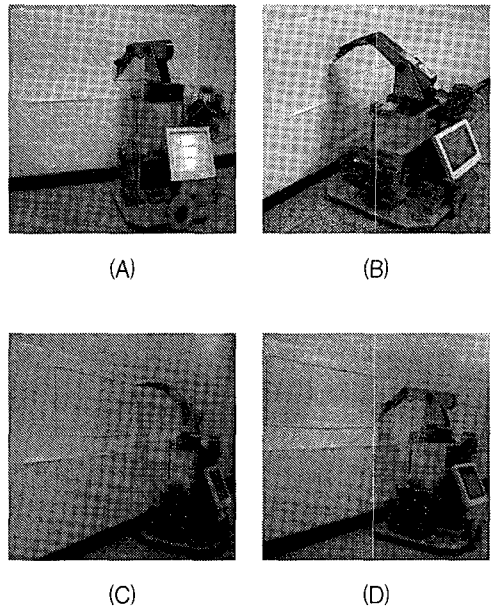


그림 8. 이동매니퓰레이터의 협동적 작업 수행  
Fig. 8. Cooperative Task Execution of Mobile Manipulator

#### IV. 결론 및 향후 연구방향

로봇을 특정한 작업에 효율적으로 배치하기 위해서는 그 작업을 수행하는데 대한 로봇의 작업 자세가 우선적으로 고려되어야 한다. 이러한 시스템의 경우 각 로봇 단위의 제어기는 서로 분리되어 있기 때문에 로봇을 효과적으로 제어하여 전체 로봇 시스템이 원하는 성능을 갖도록 하기 위해 본 연구에서는 작업 분리 방법을 제안하였다. 이러한 제어 방법은 각각의 로봇이 작업을 수행함에 있어서 작업내용의 충돌이 없이 이루어

어지게 한다. 실험 결과에서도 알 수 있듯이 작업로봇의 각 자세에 따른 Measure 없이는 이동로봇이 어느 시점에서 협동을 수행해야 하는지를 알 수 없으며 작업로봇은 Singularity에 빠져 다음 작업의 수행이 불가능해진다. 그러나 본 연구에서 제안한 작업의 분할-획득 알고리즘과 협동제어 수행의 지수로서 TOMM을 이용할 때 작업로봇은 작업하기 위한 최적의 자세를 취하고, 특정시점에서의 이동로봇의 협동으로 연속적이고 원활하게 작업을 수행하였다. 그러나 이동로봇은 기계적 부분과 바닥 면과의 마찰을 고려할 때 여러 외란이 있었으나, PID제어기로도 비교적 정밀한 특성을 얻을 수 있었고, 이를 통해서 이동로봇은 충분한 베이스로서의 역할을 해낼 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] Jea-Kyung Lee, "Mobile Manipulator Motion Planning for Multiple Tasks Using Global Optimization Approach," *Journal of Intelligent and Robotic System*, Vol.18, pp.169-190, 1997.
- [2] Mark W. Spong, *Robot Dynamics and Control*, John Wiley & Sons, 1989.
- [3] 김민규, 진기홍, 강진구, 이장명, "Manipulability Ellipsoid를 이용한 이동매니퓰레이터의 자세 제어에 관한 연구," *대한전자공학회 부산·경남 춘계학술발표회 논문집*, pp. 260-265, 1999.
- [4] M.Aicardi, "Closed Loop Steering of unicycle-like Vehicles via Lyapunov Techniques," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, March, pp.27-35, 1995.
- [5] Matthew T Mason, "Compliance and Force Control for Computer Controller Manipulators." *IEEE Transactions On Systems*, Vol. SMC\_11, No. 6, pp.418-432, June 1977.
- [6] Sukhan Lee and Jang M. Lee, "Task-Oriented Dual-Arm Manipulability and Its Application to Configuration Optimization." *Proc. 27th IEEE Int. Conf. on Decision and Control*, Austin, TX, Dec. 1988.

저자약력

#### 강진구(Jin-Gu Kang)



1995년 금오공과대학교 전자공학사  
 1998년 부산대학교 전자공학석사  
 2001년 부산대학교 전자공학박사  
 2001~현재 : 극동정보대학 방송영상미디어학과 조교수  
 ※ 관심분야 : 이동로봇, 이동물체추적, 멀티미디어

#### 이관형(Kwan-Houng Lee)



1994년 청주대학교 전자공학사  
 1998년 청주대학교 전자공학석사  
 2004년 청주대학교 전자공학박사  
 2005~현재 : 청주대학교 전자정보공학부 전임강사  
 ※ 관심분야 : 이동체 추적, 무선통신, 멀티미디어