

힘 및 토크 정보를 이용한 로봇의 잡는 자세 해석

An Analysis of The Grasping Pose of Robot Using Force / Torque Information

박시영, 정재욱, 이범희, 고명삼
 서울대학교 대학원 제어계측공학과, 자동화 시스템 공동 연구소

Park, Si Young Jeong, Jae Ook Lee, Bum Hee Ko, Myung Sam

Automation and Systems Research Institute and
 Dept. of Control & Instrumentation Eng., Seoul Natinal University

ABSTRACT

In this paper, robot's grasping poses are classified into three cases, and force/torque information in each grasping pose is analyzed. In the grasping process, error between the desired and the actual grasping poses can be generated because of uncertainty in the environment. A systematic algorithm is presented, that uses the force/torque information generated by grasping pose error to estimate robot's actual grasping pose.

1. 서 문

산업사회내에서의 로봇트는 특히 생산자동화 분야에서 점차로 그 역할을 증대시켜 나가고 있다. 그러나 실제로 산업현장에서의 로봇트의 사용은 환경이 구조적이고 변하지 않는 응용작업, 즉 용접이나 칠작업, 또는 물건을 집어 옮기는 등의 단순한 작업으로 한정되어 왔다. 이러한 한계는 대부분이 로봇트는 미리 프로그램된 작업을 수행하며, 작업상태로부터 발생하는 정보의 되먹임이 거의 없다는 점에서 기인한다.

그러나 최근의 작업들은 외부제한조건(constraint)에 의한 힘과 환경에서의 변화 및 불확실성(uncertainty)에 대하여 로봇트의 지능적인 대응을 요구하는 것들이 많아지고 있다.

로봇트에 지능을 부여하기 위해서는 센서에 의한 환경정보(environment information)를 로봇트의 제어에 이용하는 것이 필수적이다. 이때 로봇트에 많이 사용되는 센서시스템으로는 비전시스템, 접촉센서, 힘·토크 센서, 원거리 센서시스템등을 들수 있다.

로봇트가 물체에 잡는동작(grasping motion)을 수행하는 과정에서 발생하는 정보의 이용을 위해서 실제로 적용이 가능한 센서는 여러가지 센서시스템들 중에서 비전센서시스템과 힘·토크 센서를 들수있다.

비전카메라에 의한 물체의 3차원 인식과정을 통하여 발생된 정보가 로봇트에 의한 물체의 잡는동작(grasping motion)과정에서 이용이된다. 또다른 방법으로 비전센서시스템 매니플레이터에 직접 연결하여 로봇트의 잡는동작과정중에 정보를 이용하는 형태도 있다.

한편 힘·토크 센서로 부터 얻어지는 정보를 이용한 물체의 인식과 감지에 관한 연구들도 진행되어 왔다. [1][2][3]에서는 접촉정보를 이용하여 잡는자세를 추정하는 방법에 관한 연구도 진행되어 왔다.

본 논문에서는 힘·토크 센서로 부터 얻어지는 정보를 이용하여 로봇트에 의한 물체의 잡는자세(grasping pose)를 추정하는 새로운 방법을 제시한다.

2. 문제설정 및 정의

매니플레이터가 물체를 잡는다는 것은 매니플레이터의 끝에 새로운 링크(link)를 추가하는 것과 동일하다. 따라서 물체를 잡고 있는 상태에서 작업을 수행할 경우, 작업좌표계(work coordinate)를 물체 위에 설정하는 것이 바람직하다. [3] 작업좌표계를 물체위에 설정하기 위해서는 손(hand)과 잡힌 물체의 상관관계를 충분히 알아야 한다.

그런데 로봇트가 미리 프로그램된 일련의 동작들로서 작업을 수행해 갈경우, 잡는동작의 불확실성(uncertainty) 또는 외부환경과의 상호작용에 의해 잡는자세가 변화해 버리는 경우가 발생한다.

이때 미리 프로그램된 잡는자세와 실제의 잡는자세 사이의 오차를 보정할 수 있고, 불확실성과 외부환경의 영향에 의한 변화된 잡는자세를 추정할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

<정의>

- C_h : 로봇트의 손(hand)에 설정한 손좌표계
- C_0 : 물체의 무게중심(Center Of Mass)에 설정한 물체좌표계(object coordinate). 물체좌표계의 원점은 물체의 무게중심에 있으며, 방향(orientation)은 프로그래밍된 잡는자세의 손좌표계와 동일하다.

손좌표계에 대한 물체좌표계의 상대적인 관계를 나타내는 동형행렬(homogeneous matrix) ${}^{Ch}A_{C_0}$ 를 다음과 같이 정의한다.

$${}^{Ch}A_{C_0} = \begin{bmatrix} \text{ROT}(Z, \phi) \text{ROT}(Y, \theta) \text{ROT}(X, \psi) & \begin{matrix} \text{Trans}(X, dx) \\ \text{Trans}(Y, dy) \\ \text{Trans}(Z, dz) \end{matrix} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

= 로봇트의 손좌표계 OXYZ 를 물체좌표계 oxzy 로 변환하는 동형변환행렬(homogeneous transformation matrix)

<가정>

1. 물체의 질량분포는 균일하며 대칭적인 원통이다.
2. 물체의 질량과 크기에 대한 정보는 미리 알고 있다.
물체의 질량은 M, 원통의 길이는 2L, 원통의 지름은 2D 라고 가정한다.
3. 잡는 동작 과정에서 발생하는 오차가 상대적으로 크지 않아 로봇트에 의한 물체의 잡는동작이 가능하다.
4. 로봇트는 6자유도(6 Degree Of Freedom)를 가지는 6 축 로봇트이며, 힘·토크 센서는 로봇트의 손목에 장착된다.

3. 잡는 자세에 따른 힘·토크 정보

3.1 프로그래밍된 잡는 자세에 따른 힘·토크 정보
로봇트의 삽입작업이나 조립작업 등에서 일반적으로 예상되는 원통물체에 대한 잡는 자세를 그림과 같이 세가지 경우로 구분하고 해석한다.

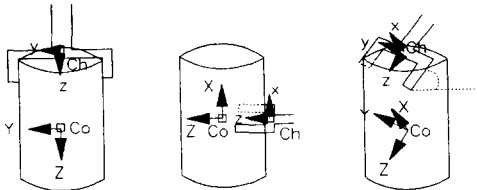


그림 1. 로봇트에게 명령된 잡는 자세들
Fig 1. Programed Grasping Pose

로봇트가 미리 프로그래밍 된 잡는동작에 따라 작업을 수행할 때 잡는동작에서의 불확실성이나 외부환경의 변화가 없는 경우를, 손에 설정한 손좌표계 Ch와 물체위의 물체좌표계 Co 사이의 동형변환행렬로 나타낸다면 아래와 같은 행렬이 된다.

◎ 잡는 자세 경우 1 에서의 동형변환행렬

$$Ch_{Aco} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

◎ 잡는 자세 경우 2 에서의 동형변환행렬

$$Ch_{Aco} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & D \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

◎ 잡는 자세 경우 3 에서의 동형변환행렬

$$Ch_{Aco} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -L\cos\alpha \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L\sin\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

프로그래밍된 잡는 자세 경우 1,2,3 에서의 힘·토크 정보는 물체의 질량이 M 이라면 다음과 같이 나타낸다.

	경우 1	경우 2	경우 3
Fx	0	-Mg	$-\cos\alpha Mg$
Fy	0	0	0
Fz	Mg	0	$\sin\alpha Mg$
Mx	0	0	0
My	0	$-[D+T]Mg$	$T \cdot \sin\alpha Mg$
Mz	0	0	0

이때 g = 중력 가속도

3.2 오차가 발생한 잡는 상태의 힘·토크 정보

잡는동작(grasping motion)에서의 불확실성이나 외부환경의 변화에 의해서 손좌표계는 각 X축,Y축,Z축 방향으로의 회전오차(rotation error)나 이동오차(translation error)가 발생할 수 있다. 각각의 오차 발생경우에 따른 힘·토크 센서의 측정값은 다음과 같이 달라진다.

3.2.1 잡는 자세 경우 1

◎ 일반적으로 예상되는 잡는자세 오차

X축, Y축, Z축 방향으로 이동오차가 각각 $\Delta a, \Delta b, \Delta c$, 회전오차가 각각 φ, θ, ϕ 발생한 경우 이를 그림으로 표현하면 다음과 같다.

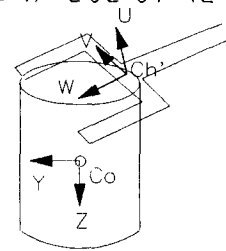


그림2. 일반적으로 예상되는 잡는 자세오차
Fig 2. Error Involved Grasping Pose

오차가 발생한 경우의 손좌표계를 Ch' 라고 정의하면 이 때의 손좌표계와 물체좌표계사이의 동형변환행렬은 다음과 같다.

$$Ch'_{Aco} = \begin{bmatrix} ROT(W, \phi) ROT(V, \theta) ROT(U, \varphi) & \Delta a \\ & \Delta b \\ & L + \Delta c \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\phi C\theta & -S\phi C\theta + C\phi S\theta S\varphi & S\phi S\theta + C\phi S\theta C\varphi & \Delta a \\ S\phi C\theta & C\phi C\theta + S\phi S\theta S\varphi & -C\phi S\theta + S\phi S\theta C\varphi & \Delta b \\ -S\theta & C\theta S\varphi & C\theta C\varphi & L + \Delta c \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이때의 힘·토크 센서 측정값은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} F' \\ \\ M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F'x \\ F'y \\ F'z \\ \\ M'x \\ M'y \\ M'z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Mg[S\phi S\theta + C\phi S\theta C\varphi] \\ Mg[-C\phi S\theta + S\phi S\theta C\varphi] \\ Mg[C\theta C\varphi] \\ \Delta b \cdot F'z - (L + \Delta c + T) \cdot F'y \\ -\Delta a \cdot F'z + (L + \Delta c + T) \cdot F'x \\ \Delta a \cdot F'y - \Delta b \cdot F'x \end{bmatrix}$$

3.2.2 잡는 자세 경우 2

㉔ 일반적으로 예상되는 잡는자세 오차

X축, Y축, Z축 방향으로 이동오차가 각각 $\Delta a, \Delta b, \Delta c$, 회전오차가 각각 φ, θ, ϕ 발생한 경우 이를 그림으로 표현하면 다음과 같다.

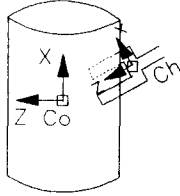


그림 3. 일반적으로 예상되는 위치오차

Fig 3. Error Involved Grasping Pose

오차가 발생한 경우의 손좌표계를 C_h' 라고 정의하면 이때의 손좌표계와 물체좌표계사이의 동형변환행렬은 다음과 같다.

$$C_h' A_{Co} = \begin{bmatrix} \text{ROT}(W, \phi) \text{ROT}(V, \theta) \text{ROT}(U, \varphi) & \begin{matrix} -L \cos \alpha + \Delta a \\ \Delta b \\ L \sin \alpha + \Delta c \end{matrix} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\phi C\theta & -S\phi C\varphi + C\phi S\theta S\varphi & S\phi S\varphi + C\phi S\theta C\varphi & \Delta a \\ S\phi C\theta & C\phi C\varphi + S\phi S\theta S\varphi & -C\phi S\varphi + S\phi S\theta C\varphi & \Delta b \\ -S\theta & C\theta S\varphi & C\theta C\varphi & L \sin \alpha + \Delta c \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이때의 힘·토크 센서 측정값은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} F' \\ \hline M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F'x \\ F'y \\ F'z \\ \hline M'x \\ M'y \\ M'z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Mg[C\phi C\theta] \\ -Mg[S\phi C\theta] \\ -Mg[-S\theta] \\ \hline \Delta b \cdot F'z - (C+T+\Delta c) \cdot F'y \\ -\Delta a \cdot F'z + (C+T+\Delta c) \cdot F'x \\ \Delta a \cdot F'y - \Delta b \cdot F'x \end{bmatrix}$$

3.2.3 잡는 자세 경우 3

㉔ 일반적으로 예상되는 잡는자세 오차

X축, Y축, Z축 방향으로 이동오차가 각각 $\Delta a, \Delta b, \Delta c$, 회전오차가 각각 φ, θ, ϕ 발생한 경우 이를 그림으로 표현하면 다음과 같다.

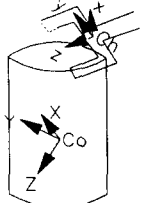


그림 4. 일반적으로 예상되는 위치오차

Fig 4. Error Involved Grasping Pose

오차가 발생한 경우의 손좌표계를 C_s' 라고 정의하면 이때의 손좌표계와 물체좌표계사이의 동형변환행렬은 다음과 같다.

$$C_s' A_{Co} = \begin{bmatrix} \text{ROT}(W, \phi) \text{ROT}(V, \theta) \text{ROT}(U, \varphi) & \begin{matrix} -L \cos \alpha + \Delta a \\ \Delta b \\ L \sin \alpha + \Delta c \end{matrix} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\phi C\theta & -S\phi C\varphi + C\phi S\theta S\varphi & S\phi S\varphi + C\phi S\theta C\varphi & -L \cos \alpha + \Delta a \\ S\phi C\theta & C\phi C\varphi + S\phi S\theta S\varphi & -C\phi S\varphi + S\phi S\theta C\varphi & \Delta b \\ -S\theta & C\theta S\varphi & C\theta C\varphi & L \sin \alpha + \Delta c \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이때의 힘·토크 센서 측정값은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} F'x \\ F'y \\ F'z \\ \hline M'x \\ M'y \\ M'z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \alpha Mg[C\phi C\theta] + \sin \alpha Mg[S\phi S\varphi + C\phi S\theta C\varphi] \\ -\cos \alpha Mg[S\phi C\theta] + \sin \alpha Mg[-C\phi S\varphi + S\phi S\theta C\varphi] \\ -\cos \alpha Mg[-S\theta] + \sin \alpha Mg[C\theta C\varphi] \\ \hline \Delta b \cdot F'z - (C+T+\Delta c) \cdot F'y \\ -\Delta a \cdot F'z + (C+T+\Delta c) \cdot F'x \\ \Delta a \cdot F'y - \Delta b \cdot F'x \end{bmatrix}$$

4. 잡는 자세 추정 알고리즘

4.1 잡는 자세 경우 1에서의 추정 알고리즘

4.1.1 회전오차 φ, θ, ϕ 값의 추정

아래와 같은 순서로 잡는 동작을 행하여 힘·토크 센서 정보를 얻어낸다.

① 과정

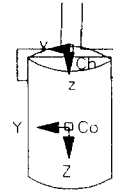


그림 5. 잡는 자세 과정 ①

Fig 5. ① Step Grasping Pose

이때 힘·토크 센서 정보는 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{cases} F'x = Mg[S\phi S\varphi + C\phi S\theta C\varphi] & \dots (4.1-1) \\ F'y = Mg[-C\phi S\varphi + S\phi S\theta C\varphi] & \dots (4.1-2) \\ F'z = Mg[C\theta C\varphi] & \dots (4.1-3) \\ \hline M'x = \Delta b \cdot F'z - (L+T+\Delta c) \cdot F'y & \dots (4.1-4) \\ M'y = -\Delta a \cdot F'z + (L+T+\Delta c) \cdot F'x & \dots (4.1-5) \\ M'z = \Delta a \cdot F'y - \Delta b \cdot F'x & \dots (4.1-6) \end{cases}$$

② 과정

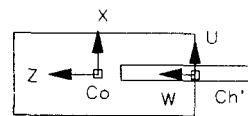


그림 6. 잡는 자세 과정 ②

Fig 6. ② Step Grasping Pose

이때 힘·토크 정보는 다음과 같이 얻어진다.

$$\left\{ \begin{array}{l} F''x = -Mg[C\phi C\theta] \quad \dots (4.1-7) \\ F''y = -Mg[S\phi C\theta] \quad \dots (4.1-8) \\ F''z = -Mg[-S\theta] \quad \dots (4.1-9) \\ \hline M''x = \Delta b \cdot F''z - (L+T+\Delta c) \cdot F''y \quad \dots (4.1-10) \\ M''y = -\Delta a \cdot F''z + (L+T+\Delta c) \cdot F''x \quad \dots (4.1-11) \\ M''z = \Delta a \cdot F''y - \Delta b \cdot F''x \quad \dots (4.1-12) \end{array} \right.$$

③과정 (φ 값의 추정)

이때 (4.1-7)과(4.1-8)로부터

$$\phi = \arctan \left[\frac{-Mg[S\phi C\theta]}{-Mg[C\phi C\theta]} \right] \quad \dots (4.1-13)$$

(4.1-13)로부터 φ 값을 유일하게 결정할 수 있다.

④과정 (θ 값의 추정)

(4.1-9) 으로부터 θ 값을 유일하게 결정할 수 있다.

$$\theta = \arcsin \left[\frac{F''z}{Mg} \right] \quad \dots (4.1-14)$$

⑤과정 (φ 값의 추정)

④과정 으로부터 얻어진 θ 값을 (4.1-3) 에 대입하면 φ 값을 유일하게 결정할 수 있다.

$$\phi = \arccos \left[\frac{F'z}{Mg \cdot C\theta} \right] \quad \dots (4.1-15)$$

이때 일반적으로 φ는 절대값이 같으며 부호가 다른 두 값(φ₁, -φ₁, φ₁>0)을 가진다. 이때 φ=φ₁ 이라고 가정하자.

⑥과정 (φ, θ, φ 값의 확인)

③과정, ④과정, ⑤과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값을 (4.1-1)(4.1-2)의 오른쪽에 대입, 이를 측정된 힘정보 F''x, F''y 과 비교한다. 이 값이 동일하면 ③과정, ④과정, ⑤과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값이 잡는자세 경우 1의 회전오차이다. 만일 비교된 값이 동일하지 않다면 ⑦과정 으로서 연속된다.

⑦과정 (φ 값의 추정)

④과정에서 결정된 값중에서 φ=-φ₁이라고 가정.

⑧과정 (φ, θ, φ 값의 확인)

③과정, ④과정, ⑦과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값을 (4.1-1)(4.1-2)의 오른쪽에 대입, 이를 측정된 힘정보 F''x, F''y 과 비교한다. 이 값이 동일하면 ③과정, ④과정, ⑦과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값이 잡는자세 경우 1의 회전오차이다.

4.1.2 이동오차 Δa, Δb, Δc 의 추정

① 과정 (Δa 의 추정)

(4.1-6)과(4.1-12)를 연립해서 Δa를 추정한다.

$$\Delta a = \frac{F''x \cdot M'z - F'x \cdot M''z}{F''x \cdot F'y - F'x \cdot F''y} \quad \dots (4.1-16)$$

② 과정 (Δb 의 추정)

(4.1-16)와(4.1-6)을 이용하면 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta b = \frac{\Delta a \cdot F'y - M'z}{F'x} \quad \dots (4.1-17)$$

③ 과정 (Δc 의 추정)

(4.1-16)와 (4.1-5)를 이용하면 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta c = \frac{\Delta a \cdot F'z + M'y - [L+T] \cdot F'x}{F'x} \quad \dots (4.1-18)$$

4.2 잡는 자세 경우 2에서의 추정알고리즘

4.2.1 회전오차 φ, θ, φ 값의 추정

아래와 같은 순서로 잡는동작을 행하여 힘·토크 정보를 얻어낸다.

① 과정

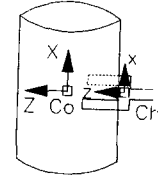


그림 7. 잡는 자세 과정 ①

Fig 7. ① Step Grasping Pose

이때 힘·토크 정보는 다음과 같이 얻어진다.

$$\left\{ \begin{array}{l} F'x = -Mg[C\phi C\theta] \quad \dots (4.2-1) \\ F'y = -Mg[S\phi C\theta] \quad \dots (4.2-2) \\ F'z = -Mg[-S\theta] \quad \dots (4.2-3) \\ \hline M'x = \Delta b \cdot F'z - (D+T+\Delta c) \cdot F'y \quad \dots (4.2-4) \\ M'y = -\Delta a \cdot F'z + (D+T+\Delta c) \cdot F'x \quad \dots (4.2-5) \\ M'z = \Delta a \cdot F'y - \Delta b \cdot F'x \quad \dots (4.2-6) \end{array} \right.$$

② 과정

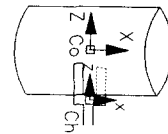


그림 8. 잡는 자세 과정 ②

Fig 8. ② Step Grasping Pose

이때 힘·토크 정보는 다음과 같이 얻어진다.

$$\left\{ \begin{array}{l} F'x = -Mg[-S\phi C\theta + C\phi S\theta S\phi] \quad \dots (4.2-7) \\ F'y = -Mg[C\phi C\theta + S\phi S\theta S\phi] \quad \dots (4.2-8) \\ F'z = -Mg[C\theta S\theta] \quad \dots (4.2-9) \\ \hline M'x = \Delta b \cdot F'z - (D+T+\Delta c) \cdot F'y \quad \dots (4.2-10) \\ M'y = -\Delta a \cdot F'z + (D+T+\Delta c) \cdot F'x \quad \dots (4.2-11) \\ M'z = \Delta a \cdot F'y - \Delta b \cdot F'x \quad \dots (4.2-12) \end{array} \right.$$

③과정 (φ 값의 추정)

이때 (4.2-1)과(4.2-2)로부터

$$\phi = \arctan \left[\frac{Mg[S\phi C\theta]}{Mg[C\phi C\theta]} \right] \quad \dots (4.2-13)$$

(4.2-13)로부터 φ 값을 유일하게 결정할 수 있다.

④과정 (θ 값의 추정)

(4.2-3) 으로부터 θ 값을 유일하게 결정할 수 있다.

$$\theta = \arcsin \left[\frac{F'z}{Mg} \right] \dots\dots (4.2-14)$$

⑤과정 (φ 값의 추정)

④과정 으로부터 얻어진 θ 값을 (4.2-9) 에 대입하면 φ 값을 유일하게 결정할 수 있다.

$$\phi = \arcsin \left[\frac{F'z}{-Mg[C\theta]} \right] \dots\dots (4.2-15)$$

⑥과정(φ, θ, φ 값의 확인)

③과정, ④과정, ⑤과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값을 (4.2-7)(4.2-8)의 오른쪽에 대입, 이를 측정된 힘정보 F''x, F''y 과 비교한다. 이 값이 동일하면 ③과정, ④과정, ⑤과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값이 잡는자세 경우 2 의 회전오차이다.

4.2.2 이동오차 Δa, Δb, Δc 의 추정

① 과정 (Δa 의 추정)

(4.2-6)과(4.2-12)를 연립해서 Δa를 추정한다. 이때

$$\Delta a = \frac{F''x \cdot M'z - F'x \cdot M''z}{F'x \cdot F'y - F'x \cdot F''y} \dots\dots (4.2-16)$$

② 과정 (Δb 의 추정)

(4.2-16)와(4.2-6)을 이용하면 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta b = \frac{\Delta a \cdot F'y - M'z}{F'x} \dots\dots (4.2-17)$$

③ 과정 (Δc 의 추정)

(4.2-16)와 (4.2-5)를 이용하면 다음과 같이 구해진다

$$\Delta c = \frac{\Delta a \cdot F'z + M'y - [L+T] \cdot F'x}{F'x} \dots\dots (4.2-18)$$

4.3 잡는 자세 경우 3 에서의 추정알고리즘

4.3.1 회전오차 φ, θ, φ 값의 추정

아래와 같은 순서로 잡는동작을 행하여 힘·토크 정보를 얻어낸다.

① 과정

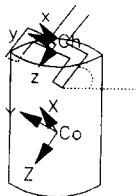


그림 9. 잡는 자세 과정 ①

Fig 9. ① Step Grasping Pose

이때 힘·토크 정보는 다음과 같이 얻어진다.

$$\left[\begin{array}{l} F'x = -\cos \alpha Mg[C\theta C\phi] + \sin \alpha Mg[S\phi S\theta + C\phi S\theta C\phi] \quad (4.3-1) \\ F'y = -\cos \alpha Mg[S\phi C\theta] + \sin \alpha Mg[-C\phi S\theta + S\phi S\theta C\phi] \quad (4.3-2) \\ F'z = -\cos \alpha Mg[-S\theta] + \sin \alpha Mg[C\theta C\phi] \quad (4.3-3) \\ \hline M'x = \Delta b \cdot F'z - (L\sin \alpha + T + \Delta c) \cdot F'y \quad (4.3-4) \\ M'y = (L\cos \alpha - \Delta a) \cdot F'z + (L\sin \alpha + T + \Delta c) \cdot F'x \quad (4.3-5) \\ M'z = (-L\cos \alpha + \Delta a) \cdot F'y - \Delta b \cdot F'x \quad (4.3-6) \end{array} \right.$$

② 과정

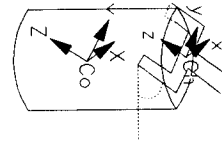


그림 10. 잡는 자세 과정 ②

Fig 10. ② Step Grasping Pose

이때 힘·토크 정보는 다음과 같이 얻어진다.

$$\left[\begin{array}{l} F''x = -Mg[C\phi C\theta] \quad (4.3-7) \\ F''y = -Mg[S\phi C\theta] \quad (4.3-8) \\ F''z = -Mg[-S\theta] \quad (4.3-9) \\ \hline M''x = \Delta b \cdot F''z - (L\sin \alpha + T + \Delta c) \cdot F''y \quad (4.3-10) \\ M''y = (L\cos \alpha - \Delta a) \cdot F''z + (L\sin \alpha + T + \Delta c) \cdot F''x \quad (4.3-11) \\ M''z = (-L\cos \alpha + \Delta a) \cdot F''y - \Delta b \cdot F''x \quad (4.3-12) \end{array} \right.$$

③과정 (θ 값의 추정)

이때 (4.3-9) 로부터 θ 값을 유일하게 결정할 수 있다.

$$\theta = \arcsin \left[\frac{F''z}{Mg} \right] \dots\dots (4.3-13)$$

④과정 (φ 값의 추정)

(4.3-7)과 (4.3-8)을 이용해서 아래와 같이 구한다.

$$\phi = \arctan \left[\frac{Mg[C\theta S\phi]}{Mg[C\theta C\phi]} \right] \dots\dots (4.3-14)$$

(4.3-14)로부터 φ 값을 유일하게 결정할 수 있다.

⑤과정 (φ 값의 추정)

③과정, ④과정 으로부터 얻어진 φ, θ 값을 (4.3-3) 에 대입하면 φ 값을 결정할 수 있다.

$$\phi = \arccos \left[\frac{F'z - \cos \alpha \cdot Mg[S\theta]}{\sin \alpha \cdot Mg[C\theta]} \right] \dots\dots (4.3-15)$$

이때 일반적으로 φ는 절대값이 같으며 부호가 다른 두 값(φ₁, -φ₁, φ₁>0)을 가진다. 이때 φ=φ₁ 이라고 가정 하자.

⑥과정(φ, θ, φ 값의 확인)

③과정, ④과정, ⑤과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값을 (4.3-1)(4.3-2)의 오른쪽에 대입, 이를 측정된 힘정보 F'x, F'y 과 비교한다. 이 값이 동일하면 ③과정, ④과정, ⑤과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값이 잡는자세 경우 3 의 회전오차이다. 만일 비교된 값이 동일하지 않다면 ⑦과정 으로 연속된다.

⑦과정 (φ 값의 추정)

⑤과정에서 결정된 값중에서 φ=φ₁이라고 가정.

⑧과정(φ, θ, φ 값의 확인)

③과정, ④과정, ⑦과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값을 (4.3-1), (4.3-2) 오른쪽에 대입, 이를 측정된 힘정보 F'x, F'y 과 비교한다. 이 값이 동일하면 ③과정, ④과정, ⑦과정 으로부터 얻어진 φ, θ, φ 값이 잡는 자세 경우 3 의 회전오차이다.

4.3.2 이동오차 Δa, Δb, Δc 의 추정

① 과정 (Δa 의 추정)

(4.3-6)과(4.3-12)를 연립해서 Δa를 추정한다.

이때

$$\Delta a = \frac{F'x \cdot M'z - F'x \cdot M''z}{F'x \cdot F'y - F'x \cdot F''y} + L \cos \alpha \quad (4.3-16)$$

② 과정 (Δb 의 추정)

(4.3-16)와(4.3-6)을 이용하면 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta b = \frac{F'y (-L \cdot \cos \alpha + \Delta a) - M'z}{F'x} \quad (4.3-17)$$

③ 과정 (Δc 의 추정)

(4.3-16)와 (4.3-5)를 이용하면 다음과 같이 구해진다.

$$\Delta c = \frac{F'z(-[L+T] \cos \alpha + \Delta a) + M'y}{F'x} - L \sin \alpha \quad (4.3-18)$$

4.4 잡는 자세 추정 알고리즘 정리

	잡는 자세 경우 1	잡는 자세 경우 2
φ	$\arccos \left[\frac{F'z}{Mg \cdot C\theta} \right]$	$\arcsin \left[\frac{F'z}{-Mg[C\theta]} \right]$
θ	$\arcsin \left[\frac{F'z}{Mg} \right]$	$\arcsin \left[\frac{F'z}{Mg} \right]$
φ	$\arctan \left[\frac{F'y}{F'x} \right]$	$\arctan \left[\frac{F'y}{F'x} \right]$
Δa	$\frac{F'x M'z - F'x M''z}{F'x F'y - F'x F''y}$	$\frac{F'x M'z - F'x M''z}{F'x F'y - F'x F''y}$
Δb	$\frac{\Delta a \cdot F'y - M'z}{F'x}$	$\frac{\Delta a \cdot F'y - M'z}{F'x}$
Δc	$\frac{\Delta a F'z + M'y - [L+T] F'x}{F'x}$	$\frac{\Delta a F'z + M'y - [L+T] F'x}{F'x}$

잡는 자세 경우 3	
φ	$\arccos \left[\frac{F'z - \cos \alpha \cdot Mg[S\theta]}{\sin \alpha \cdot Mg[C\theta]} \right]$
θ	$\arcsin \left[\frac{F'z}{Mg} \right]$
φ	$\arctan \left[\frac{F'y}{F'x} \right]$
Δa	$\frac{F'x M'z - F'x M''z}{F'x F'y - F'x F''y} + L \cos \alpha$
Δb	$\frac{F'y (-L \cdot \cos \alpha + \Delta a) - M'z}{F'x}$
Δc	$\frac{F'z(-[L+T] \cos \alpha + \Delta a) + M'y}{F'x} - L \sin \alpha$

5. 결론 및 향후 연구방향

로봇이 물체에 대하여 잡음동작을 수행할때 발생될 수 있는 오차의 요인은 다음과 같은 것들이 있다.

- 비전시스템에 의한 3차원 물체 인식과정에서의 오차
- 로봇의 동작의 불확실성
- 외부환경의 변화

잡음동작 중에서 발생할 수 있는 오차의 종류를 로봇 손좌표계의 각 축방향의 회전오차와 이동오차로 나누어 해석하였으며 각 오차발생시의 힘·토크 센서의 측정값을 예상하였다. 그리고 측정된 힘·토크 센서 값으로부터 손좌표계의 각 축방향의 회전오차값과 이동오차값을 구해내는 체계적인 알고리즘을 개발하였다. 앞으로의 연구과제는 이를 실험을 통해 검증해 보는 것이다.

또다른 과제로는 로봇의 물체에대한 잡음자세 (grasping pose)를 다른형태들로 확장해 보는 것이며, 가능하다면 대칭인 형태의 물체만이 아니라 일반적인 형태의 물체에 관해서도 해석을 해 보는 것이다.

참고 문헌

[1] Peter K.Allen & Paul Michelman, "Acquisition and Interpretation of 3-D Sensor Data from Touch," IEEE Trans. on Robotics & Automation, Vol.6, No.4, 1990, 8.

[2] Takashi Tsujimura & Tetsuro Yabuta, "Object Detection by Tactile Sensing Method Employing Force/Torque," IEEE Trans. on Robotics & Automation, Vol.5, No.4, pp. 444-450, 1989, 8.

[3] K.Nagata & T.Ogasawara & K.Tagase, "Estimation of grasping pose by the use of contact information," pp. 99-102.

[4] Jay Kahng & F.M.L.Amirouche, "Impact force Analysis in Mechanical Hand Design,"

[5] Kwee Bo Sim, Hildeki Hashimoto, "Contact Force Control of Robot Hand using VSS," KACC, pp. 1080-1084, 1989, 10.

[6] James A.Maples & Joseph J.Becker, "Experiments in Force Control of Robotic Manipulator," 1986.

[7] David M.Siegel, "Finding the Pose of an Object in a Hand." IEEE Int'l Conf. on Robotics & Automation, pp. 406-411, 1991.