

# 전류 기반 충돌 감지 알고리즘

## Motor Current based Collision Detection Algorithm

\*이상덕<sup>1</sup>, #송재복<sup>1</sup>

\*S. D. Lee<sup>1</sup>, #J. B. Song(jbsong@korea.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 기계공학부

Key words : Collision detection, motor current

### 1. 서론

최근에 인간-로봇 충돌 안전에 대한 중요성이 대두됨에 따라 인간과 로봇 사이의 충돌 안전성을 향상시키기 위하여 충돌을 감지하는 기법에 대한 많은 연구들이 수행되었다. 그러나 기존의 충돌 감지 기법은 관절 토크 센서와 같은 추가적인 센서가 필요하므로 사용 범위가 제한적이었다. 따라서 추가적인 센서를 사용하지 않고 충돌을 감지할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 기본적인 동작 제어를 위하여 머니플레이터에 내장되어 있는 모터와 엔코더만을 이용한 충돌 감지 알고리즘을 제안한다. 이를 위하여 머니플레이터 각 관절의 마찰 모델을 구성하고, 인가된 외력 토크를 계산하여, 외력 토크를 바탕으로 충돌을 감지한다. 제안된 충돌 감지 방법은 6자유도의 산업용 머니플레이터를 이용한 실험을 통해 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 모터 전류 기반의 충돌 감지 알고리즘을 설명하고, 3장에서 실험을 통해 검증한다. 4장에서 결론을 도출한다.

### 2. 모터 전류 기반의 충돌 감지

인간과 로봇 사이의 충돌이 발생하면, 머니플레이터에 인가되는 충격력으로 인하여 머니플레이터의 각 관절에 외력 토크가 인가된다. 따라서 머니플레이터의 외력 토크를 측정하여 인간-로봇 충돌을 감지할 수 있다. 머니플레이터의 외력 토크는 모터와 감속기를 거쳐 각 관절에서 출력된 토크와 실제로 각 링크에 인가되는 토크를 비교함으로써, 계산할 수 있다.

머니플레이터 각 관절의 출력 토크는 모터

의 출력 토크와 감속기의 마찰 토크를 바탕으로 계산할 수 있다. 모터의 출력 토크는 모터에 인가된 전류와 비례하므로, 모터 전류를 측정하여 계산할 수 있으며, 모터의 출력 토크와 감속비를 바탕으로 머니플레이터 각 관절의 출력 토크를 계산할 수 있다. 한편 감속기 내부의 기계적인 요소들 사이에는 마찰이 존재하며 이로 인하여 각 관절의 출력 토크의 일부는 감속기의 마찰 토크로 손실된다. 따라서 각 관절의 최종 출력 토크  $\tau_f$ 는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_f = \tau_m - \tau_c \quad (1)$$

여기서  $\tau_m$ 은 감속기를 거쳐 증폭된 모터의 출력 토크,  $\tau_c$ 는 감속기의 마찰 토크이다.

인간과 로봇 사이의 충돌로 인하여 머니플레이터 각 관절에 외력 토크  $\tau_{ext}$ 이 작용하면 각 링크에 인가되는 토크는  $\tau_f - \tau_{ext}$ 이다. 즉, 링크의 동역학적 성질은 식 (1)에 의해서  $\tau_m - \tau_c - \tau_{ext}$ 에 의해서 결정된다. 따라서 충돌이 발생한 머니플레이터의 운동 방정식은 아래 식과 같이 정리할 수 있다.

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) + \tau_{ext} + \tau_c = \tau_m \quad (2)$$

여기서  $M(q)$ ,  $C(q, \dot{q})$ ,  $g(q)$ 는 머니플레이터의 관성 행렬, 코리올리 벡터, 중력 벡터이다. 식 (2)를 통해 확인할 수 있듯이 머니플레이터의 운동 방정식을 계산하기 위해서는 각 관절의 가속도가 필요하다. 하지만 일반적으로 각 관절의 가속도를 엔코더를 이용하여 측정하면 신뢰성이 낮으므로, 이를 사용하여 운동 방정식을 계산할 수 없다. 이러한 문제를 레지듀얼

관측기를 이용하여 해결할 수 있으며, 레지듀얼  $r$ 은  $\tau_{ext} + \tau_f$ 를 추종한다 [2].

충돌로 인하여  $\tau_{ext}$ 이 발생하면,  $r$ 이 증가하므로  $r$ 의 임계값(threshold)을 설정한 뒤,  $r$ 이 설정된 임계값을 초과하는지의 여부를 바탕으로 충돌을 감지할 수 있다. 그러나  $r$ 을 결정하는 또 하나의 값인  $\tau_f$ 는 충돌의 발생 여부와 상관없이 머니플레이터의 속도 및 위치에 따라 증감하므로 머니플레이터의 운행 조건에 따라 같은  $\tau_{ext}$ 이 발생하여도  $r$ 이 설정된 임계값 이하의 값을 가질 수 있다. 따라서 단순히 모터의 전류 정보와  $r$ 을 기반으로 충돌 감지를 수행할 경우 민감한 충돌 감지가 불가능하다.

충돌 감지의 성능을 향상시키기 위해서는  $r$ 에서  $\tau_f$ 가 보상된  $\tau_{ext}$ 을 바탕으로 충돌을 감지하여야 하며, 이를 위해서는 감속기의 마찰 모델을 구성하여 머니플레이터의 운행 조건에 따라 달라지는  $\tau_f$ 를 예측하여야 한다. 한편,  $r$ 은  $\tau_{ext} + \tau_f$ 를 추종하므로, 충돌이 일어나지 않은 상황( $\tau_{ext} = 0$ )에서  $r$ 은  $\tau_f$ 를 추종한다. 따라서 충돌 없이 반복적인 실험을 수행하며  $r$ 을 관찰하면 감속기의 마찰 모델을 구성하여  $\tau_f$ 를 예측할 수 있으며,  $r$ 에서  $\tau_f$ 가 보상된  $\tau_{ext}$ 를 계산할 수 있다.

### 3. 실험 결과

제안된 충돌 감지 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 Fig. 1(a)와 같은 6자유도 머니플레이터를 이용하여 충돌 감지 실험을 수행하였다. 충돌 실험을 위하여 6자유도 머니플레이터의 모든 축을 20° 회전시켰으며, 1.1초에서 1.3초 사이에 머니플레이터를 구속되어 있지 않은 사람의 손과 충돌시켰다. Fig. 1(b)는 구성된 마찰 모델과  $r$ 을 이용하여 계산된  $\tau_{ext}$ 를 시간에 대하여 나타낸 결과이다. 충돌이 발생한 경우의  $\tau_{ext}$ 을 실선으로, 충돌이 발생하지 않은 경우의  $\hat{\tau}_{ext}$ 을 점선으로 나타내었다. Fig. 1를 통해 확인할 수 있듯이, 충돌이 발생하지 않은 경우에는  $\tau_{ext}$ 의 크기가 5Nm 미만이지만, 충돌이 발생한 경우에는  $\tau_{ext}$ 가 급격히 상승한다. 따라서 충돌 감지를 위한  $\tau_{ext}$ 의 임계값을 매우 낮게 설정할 수 있고,  $\tau_{ext}$ 가 설정된 임계값을 초과하는지의 여부를 관찰함으로써 민감한 충돌 감지가

가능하다.

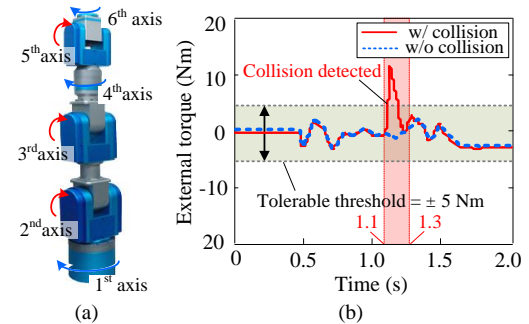


Fig. 1 Experimental condition and result: (a) 6 DOF industrial manipulator, (b) external torque.

### 4. 결론

본 연구에서는 추가 센서 및 기구의 설치 없이 모터 전류를 기반으로 충돌을 감지할 수 있는 충돌 감지 알고리즘을 개발하였다. 따라서 개발된 충돌 감지 알고리즘은 기존의 산업용 머니플레이터에도 쉽게 적용이 가능하다.

### 후기

이 논문은 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012-0000791)

### 참고문헌

1. Haddadin, S., Khoury, A., Rokahr, T., Parusel, S., Burgkart, R., Bicchi, A. and Albu-Schäffer, A. "A truly safely moving robot has to know what injury it may cause," IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 5406–5413, 2012.
2. De Luca, A., Albu-Schäffer, A., "Collision detection and safe reaction," IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robotics and Systems, 1623-1630, 2006.