(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0053482
(43) 공개일자 2018년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*B25J 9/16* (2006.01) *B25J 19/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*B25J 9/1674* (2013.01)
*B25J 19/02* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0150474
(22) 출원일자 2016년11월11일
심사청구일자 2016년11월25일

(71) 출원인
**고려대학교 산학협력단**
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
**송재복**
서울시 강남구 언주로30길 56 B동 2907호 (도곡동,타워팰리스)
**이상덕**
충청북도 단양군 단양읍 도전9나길 30 (도전리)
(74) 대리인
**홍동우**

전체 청구항 수 : 총 11 항

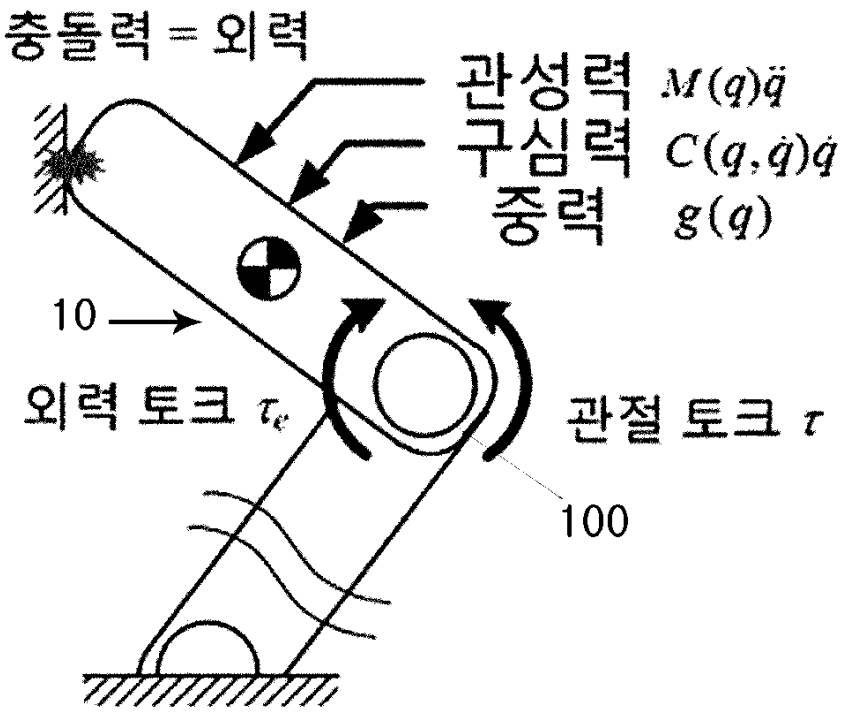
(54) 발명의 명칭 **로봇 머니퓰레이터 제어 방법**

## (57) 요 약

본 발명은, 구동 모터를 통하여 가동되는 관절부를 구비하고 힘제어 동작을 이루는 로봇 머니퓰레이터의 제어부가 상기 제어부와 연결되는 저장부에 사전 설정 저장되는 사전 설정 데이터 및 상기 제어부의 감지 제어 신호에 따라 감지부가 취득하는 상기 관절부의 회전각을 포함하는 감지 관절 정보에 기초하여, 상기 로봇 머니퓰레이터

(뒷면에 계속)

*대 표 도* - 도1



에 인가되는 외력 토크(τext)를 산출하는 외부 토크 산출 단계(S20)와, 상기 제어부가 상기 로봇 머니퓰레이터에 인가하고 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 작업 유형에 따라, 상기 제어부가 구비하고 상기 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 판단하기 위한 충돌 감지기를 산출하는 충돌 감지기 산출 단계(S30)와, 상기 제어부가 상기 충돌 감지기와 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 충돌 판단 기준값과 비교하여 상기 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 확인하고 작업 유형을 수행하는 작업 수행 모드와 충돌 상황에 대응하는 충돌 모드 중 실행되어야 할 실행 모드를 설정하는 충돌 판단 단계(S40)와, 상기 충돌 판단 단계(S40)에서의 판단 결과 및 설정 모드에 따라 해당 모드를 실행하는 모드 실행 단계(S50)를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류
*B25J 9/1633* (2013.01)
*B25J 9/1664* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 10048980
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
연구사업명 로봇산업융합핵심기술개발사업
연구과제명 다자유도 수동식 중력보상 기반 저가형 로봇시스템 개발
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교
연구기간 2016.07.01 ~ 2017.06.30

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

구동 모터를 통하여 가동되는 관절부를 구비하고 힘제어 동작을 이루는 로봇 머니퓰레이터의 제어부가 상기 제어부와 연결되는 저장부에 사전 설정 저장되는 사전 설정 데이터 및 상기 제어부의 감지 제어 신호에 따라 감지부가 취득하는 상기 관절부의 회전각을 포함하는 감지 관절 정보에 기초하여, 상기 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력 토크(τext)를 산출하는 외부 토크 산출 단계(S20)와,

상기 제어부가 상기 로봇 머니퓰레이터에 인가하고 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 작업 유형에 따라, 상기 제어부가 구비하고 상기 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 판단하기 위한 충돌 감지기를 산출하는 충돌 감지기 산출 단계(S30)와,

상기 제어부가 상기 충돌 감지기와 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 충돌 판단 기준값과 비교하여 상기 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 확인하고 작업 유형을 수행하는 작업 수행 모드와 충돌 상황에 대응하는 충돌 모드 중 실행되어야 할 실행 모드를 설정하는 충돌 판단 단계(S40)와,

상기 충돌 판단 단계(S40)에서의 판단 결과 및 설정 모드에 따라 해당 모드를 실행하는 모드 실행 단계(S50)를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 외력 토크 산출 단계(S20)는:

상기 구동 모터에 인가되는 모터 전류 및 상기 관절부의 회전각을 포함하는 감지 관절 정보를 감지하는 외력 토크 산출 감지 단계(S21)와,

상기 모터 전류, 상기 감지 관절 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여, 상기 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력 토크를 확정하는 외력 토크 산출 확정 단계(S23)를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

### 청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 외력 토크 확정 단계(S23)에서,

상기 외력 토크(τext)는:

$$\tau_{ext}=\tau_j-\{M(q)\ddot{q}+C(q,\dot{q})\dot{q}+g(q)\}$$ 이고,

M(q)는 상기 로봇 머니퓰레이터의 각 관절부를 통하여 연결되는 관절 링크의 관성 행렬을, $C(q,\dot{q})$는 코리올리 및 구심력을 나타내는 비선형 항을 나타내는 행렬을, g(q)는 중력 벡터를, $\ddot{q}$, $\dot{q}$, $q$는 각각 관절부의 가속도 벡터, 속도 벡터, 변위 벡터이고, M,C,g는 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 상기 로봇 머니퓰레이터의 물성치인 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

### 청구항 4

제 2항에 있어서,

상기 충돌 감지기 산출 단계는:

상기 로봇 머니퓰레이터의 자유 운동 상태를 이루는 자유 운동 모드, 대상체 또는 작업도구를 이송하는 이송 운동 모드, 및 상기 로봇 머니퓰레이터의 외부 환경과 물리적으로 접촉하는 동작을 실행하는 컨택 운동 모드 중 상기 사전 설정 데이터에 포함되고 상기 제어부가 인가하여 실행되는 작업 유형을 확인하는 작업 유형 확인 단계(S31)와,

상기 작업 유형 확인 단계(S31)에서 확인된 작업 유형을 판단하는 작업 유형 판단 단계(S33,S35,S37)와,

상기 작업 유형 판단 단계에서의 판단 결과에 대응하는 해당 충돌 감지기를 확정하는 충돌 감지기 확정 단계(S34,S36,S38)을 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

**청구항 5**

제 4항에 있어서,

상기 작업 유형 판단 단계에서 판단된 작업 유형이 상기 자유 운동 모드인 경우, 상기 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 유발되는 외부 토크(τc)이고,

상기 충돌 감지기는:

$\tau_{ext}=\tau_{c}$ 인 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

**청구항 6**

제 4항에 있어서,

상기 작업 유형 판단 단계에서 판단된 작업 유형이 상기 이송 운동 모드인 경우, 상기 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 유발되는 외부 토크(τc)이고, 상기 로봇 머니퓰레이터가 파지하는 대상체에 작용하는 중력 벡터(Fg) 및 관성 벡터(Fi)의 합력(Fg)에 의한 외부 토크(τp)라 할 때, 상기 외력 토크(τext)는:

$\tau_{ext}=\tau_{c}+\tau_{p}$ 이고,

상기 충돌 감지기는:

$d_{p}=(I-J_{p}J_{p}^{+})\tau_{ext}=(I-J_{p}J_{p}^{+})\tau_{p}+(I-J_{p}J_{p}^{+})\tau_{c}=(I-J_{p}J_{p}^{+})\tau_{c}$ 인 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

여기서, $F_{i}=\begin{bmatrix} f_{i} \\ n_{i} \end{bmatrix}$ , $F_{g}=\begin{bmatrix} f_{g} \\ n_{g} \end{bmatrix}$ 이고,

상기 fi,fg는 상기 관성 벡터 및 상기 중력벡터의 힘성분을, 상기 ni,ng는 상기 관성 벡터 및 상기 중력벡터의 모멘트 성분을 나타내고,

상기 외력 토크(τext)를 상기 외부 토크(τp)가 존재하는 공간 Sp에 수직한 공간 ⊥Sp로 투영하기 위한 투영 행렬(P)은:

$P=I-J_{p}J_{p}^{+}$ 이고,

I는 항등행렬, $J_{p}^{+}$ 는 Jp의 의사역행렬이고,

$J_{p}=J^{T}(B_{p}(B_{p}^{T}B_{p})^{-1}B_{p}^{T})$ 이고,

J는 상기 로봇 머니퓰레이터의 자코비안 행렬이고, $J^T$ 는 자코비안 행렬의 전치행렬이고, Bp는 Fp가 존재하는

$$B_p=\begin{bmatrix} & & 0 & 0 & 0 \\ u_i & u_g & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

공간의 기저(basis)로 구성된 행렬로, 이고,

$B_p{}^T$ 는 Bp의 전치행렬이고,

ui와 ug 는 각각 상기 fi,fg와 방향이 같은 단위 벡터를 나타낼 경우,

$P\tau_p=(I-J_pJ_p{}^+)\tau_p=0$ 임

**청구항 7**

제 4항에 있어서,

상기 작업 유형 판단 단계에서 판단된 작업 유형이 상기 컨택 운동 모드인 경우, 상기 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 유발되는 외부 토크(τc)이고, 상기 로봇 머니퓰레이터의 단부에 작용하는 접촉 외력(Fe)에 의한 외부 토크(τe)라 할 때, 상기 외력 토크(τext)는:

$\tau_{ext}=\tau_c+\tau_e$ 이고,

J는 상기 로봇 머니퓰레이터의 자코비안 행렬이고, $J^T$ 는 자코비안 행렬의 전치행렬이고, Be는 Fe가 존재하는

$$B_e=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

공간의 기저(basis)로 구성된 행렬이고, 이며,

상기 충돌 감지기는:

$d_e=(I-J^T(J^{T+}))\tau_{ext}=(I-J^T(J^{T+}))\tau_e+(I-J^T(J^{T+}))\tau_c=(I-J^T(J^{T+}))\tau_c$ 인 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

**청구항 8**

제 4항에 있어서,

상기 충돌 판단 단계(S40)는:

상기 로봇 머니퓰레이터의 작업 유형을 확인하는 판단 작업 유형 확인 단계(S41)와,

상기 판단 유형 확인 단계(S31)에서 확인된 작업 유형을 판단하는 판단 작업 유형 판단 단계(S43,S45,S47)와,

상기 판단 작업 유형 판단 단계에서 확인된 작업 유형에 따라, 상기 판단 작업 유형 판단 단계에서의 판단 결과에 대응하는 해당 충돌 감지기를 통하여 충돌 여부를 확인하는 충돌 여부 판단 단계(S44,S46,S48)를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

**청구항 9**

제 8항에 있어서,

상기 충돌 여부 판단 단계에서 판단 결과에 따라 상기 제어부가 실행 인가할 모드를 설정하는 모드 설정 단계를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

**청구항 10**

제 9항에 있어서,

상기 충돌 여부 판단 단계에서 상기 충돌 감지기의 값이 영이 아닌 경우, 상기 제어부는 상기 모드 설정 단계에서 실행되어야 할 모드는 상기 작업 유형을 실행하는 작업 모드로 설정하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

**청구항 11**

제 9항에 있어서,

상기 충돌 여부 판단 단계에서 상기 충돌 감지기의 값이 영인 경우, 상기 제어부는 상기 모드 설정 단계에서 실행되어야 할 모드는 상기 작업 유형의 실행을 중단하고 충돌 상태에 대응하는 충돌 모드로 설정하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 로봇 머니퓰레이터 팔에 발생하는 물리적인 충돌을 감지하는 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 작업 수행을 위해서 의도적으로 로봇 머니퓰레이터에 힘이 인가되는 상황에서도 충돌을 감지하는 방법에 관한 것이다.

[0002] 인간과 작업공간을 공유하는 로봇 머니퓰레이터가 작업자 또는 작업환경과 충돌할 경우에 작업자의 상해, 로봇 머니퓰레이터의 고장, 작업물의 파손 등과 같은 다양한 문제가 발생할 수 있다. 본 발명은 이러한 문제를 해결하기 위한 것으로, 위치 및 속도 제어를 수행하는 로봇 머니퓰레이터가 스스로 충돌을 감지하는 방법에 관한 것이다. 따라서 본 발명은 로봇 머니퓰레이터의 제어 기술이다. 또한, 로봇 머니퓰레이터가 충돌을 감지하여 적절한 대응을 취함으로써 작업자의 안전을 보장할 수 있다. 따라서 본 발명은 로봇 머니퓰레이터의 안전기술이다.

### *배 경 기 술*

[0003] 로봇 머니퓰레이터가 수행하는 작업은 여러 종류가 있으며, 작업을 수행하기 위하여 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 물리적인 힘을 교환하는 경우가 있다. 이러한 경우에는 로봇 머니퓰레이터가 정상적인 작업을 수행함에도 불구하고, 외부환경으로부터 로봇 머니퓰레이터에 외력이 작용한다. 예를 들어, 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉하여 힘 제어를 수행하는 경우에 로봇 머니퓰레이터가 외부환경에 인가한 힘의 반력이 로봇 머니퓰레이터에 작용한다.

[0004] 한편, 종래의 충돌감지 기술은 로봇 머니퓰레이터에 인가된 외력은 외부환경과의 충돌에 의한 충격력이라 가정하므로, 종래의 충돌감기 기술을 로봇 머니퓰레이터에 적용할 경우에 외력의 발생 원인과 무관하게 로봇 머니퓰레이터는 모든 외력을 충격력으로 간주한다. 즉, 종래의 충돌감지 기술을 외부환경과 물리적인 상호작용을 수행하는 로봇 머니퓰레이터에 적용할 경우에 로봇 머니퓰레이터가 정상적으로 운행됨에도 불구하고, 로봇 머니퓰레이터가 작업 수행을 위해서 로봇 머니퓰레이터에 작용하는 외력을 충격력으로 감지할 수 있다. 따라서 종래의 충돌감지 기술은 외부환경과 물리적인 접촉을 수행하지 않는 로봇 머니퓰레이터에만 적용할 수 있었으며, 이러

한 문제를 해결하기 위한 새로운 기술의 개발이 필요하다.

[0005] 로봇 머니퓰레이터가 작업을 수행하는 외부환경의 수학적 모델이 완벽하게 주어진 경우에는 이 모델을 이용하여 외부환경으로부터 로봇 머니퓰레이터에 가해지는 외력을 계산할 수 있으며, 이 경우에는 외부환경의 수학적 모델을 바탕으로 계산된 외력과 실제 로봇 머니퓰레이터에 인가되고 있는 외력을 비교함으로써 충돌을 감지할 수 있다. 예를 들어, 파지한 물체의 동역학 모델을 정확히 알고 있는 경우에는 이 동역학 모델을 이용하여 파지된 물체에 작용하는 중력과 관성력을 계산함으로써, 파지된 물체를 이송하는 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력을 산출하고, 이를 로봇 머니퓰레이터에 가해진 외력과 비교할 수 있다. 하지만 실제 산업 및 서비스 현장에서 외부환경의 수학적 모델을 로봇 머니퓰레이터의 사용자가 알고 있는 경우는 매우 드물며, 로봇 머니퓰레이터가 다양한 외부환경에서 작업을 수행하는 경우에는 이러한 방법을 적용하는 것이 현실적으로 불가능하다. 따라서 외부환경에 대한 수학적 모델이 없는 상황에서도 충돌을 감지할 수 있는 기술의 발명이 필요하다.

[0006] 로봇 머니퓰레이터에 6축 힘/토크 센서를 부착하면, 작업 중 외부환경으로부터 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력을 측정할 수 있으며, 이렇게 측정된 외력과 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력을 비교함으로써 충돌의 발생 여부를 알 수 있다. 그러나 6축 힘/토크 센서는 매우 고가일 뿐만 아니라, 일반적으로 단순 위치 및 속도 제어를 수행하는 로봇 머니퓰레이터에는 이러한 6축 힘/토크 센서가 구비되어 있지 않다. 따라서 고가의 6축 힘/토크 센서를 사용하지 않고, 저가의 관절 토크센서를 사용하거나 센서를 사용하지 않고 충돌을 감지할 수 있는 기술의 발명이 필요하다.

[0007] 작업의 수행을 위해서 의도적으로 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력이 비교적 저주파이고, 예기치 못한 충돌로 인하여 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 충격력은 고주파라 가정하면, 로봇 머니퓰레이터에 인가된 외력의 발생 원인을 주파수를 기반으로 구분할 수 있다. 즉, 로봇 머니퓰레이터에 인가된 외력을 고역통과필터에 통과시켜 외력에 포함된 저주파 성분을 제거함으로써 충격력을 검출할 수 있다. 하지만 작업의 수행을 위해서 로봇 머니퓰레이터에 의도적으로 인가되는 외력은 로봇 머니퓰레이터가 수행하는 작업, 경로 생성 방법에 따라서 그 주파수의 영역이 매우 상이하다. 또한, 로봇 머니퓰레이터가 저속으로 운행되는 경우에는 저주파의 충격력이 로봇 머니퓰레이터에 가해질 수 있다. 따라서 이러한 주파수 기반의 충돌감지 방법은 적용범위가 매우 제한적인 방법이며, 충격력의 주파수와 무관하게 모든 충돌을 감지할 수 있는 기술의 발명이 필요하다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0008] 본 발명의 목적은 상기된 문제점들을 해결하기 위한 것으로, 로봇 머니퓰레이터가 미지의 물체를 파지한 상태에서 충돌로 인하여 로봇 머니퓰레이터에 가해진 외력을 감지하는 충돌 감지기를 발명하는 것이다. 이를 위하여 로봇 머니퓰레이터에 인가된 외력 중 로봇 머니퓰레이터의 작업 수행을 위하여 정상적으로 로봇 머니퓰레이터에 인가된 외력에는 무관하며 충격력에만 반응하는 충돌 감지 방법을 고안한다. 고안된 방법은 로봇 머니퓰레이터가 파지한 물체의 동역학 정보를 사용하지 않아 로봇 머니퓰레이터가 미지의 물체를 파지하는 경우에도 적용 가능하며, 6축 힘/토크 센서를 사용하지 않아 다양한 로봇 머니퓰레이터에 적용이 가능하다. 또한, 충격력의 주파수와 무관하게 모든 충돌을 감지할 수 있도록 한다.

### *과제의 해결 수단*

[0009] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 로봇 머니퓰레이터가 물체를 이송하는 작업을 수행하는 데 있어서, 로봇 머니퓰레이터가 파지한 물체에 의해서 로봇 머니퓰레이터의 각 관절에 인가되는 외부토크에는 반응하지 않고, 로봇 머니퓰레이터과 외부환경과의 충돌에만 반응하는 충돌감지기를 고안하는 과정을 제공한다.

[0010] 또한, 본 발명은 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉하는 작업을 수행하는 데 있어서, 로봇 머니퓰레이터의 말단부에 장착된 작업공구와 외부환경 사이의 접촉력으로 인하여 로봇 머니퓰레이터의 각 관절에 인가되는 외부토크와는 무관하고, 충돌에만 반응하는 충돌감지기를 고안하는 과정을 제공한다.

[0011] 또한, 본 발명의 충돌 감지기를 고안하는 과정은 로봇 머니퓰레이터의 작업수행을 위해서 로봇 머니퓰레이터 관절에 인가되는 외부토크를 해당 외부토크가 존재하는 선형공간과 수직한 공간으로 투영함으로써 소거한다는 점을 제공할 수도 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 로봇 머니퓰레이터 각 관절에 인가되는 외부토크를 투영하기 위한 투영행렬은 로봇 머니퓰레이터가 물체를 파지함으로써 로봇 머니퓰레이터의 말단에 인가되는 중력과 관성력의 방향을 이용하여 산출된다는

점을 제공할 수도 있다.

[0013] 또한, 본 발명의 로봇 머니퓰레이터를 제어하는 과정은 로봇 머니퓰레이터가 수행하는 작업을 세 가지 경우로 구분하여 작업에 따라 각각 다른 충돌 감지기를 사용한다는 점을 제공할 수도 있다.

[0014] 즉, 본 발명은, 구동 모터를 통하여 가동되는 관절부를 구비하고 힘제어 동작을 이루는 로봇 머니퓰레이터의 제어부가 상기 제어부와 연결되는 저장부에 사전 설정 저장되는 사전 설정 데이터 및 상기 제어부의 감지 제어 신호에 따라 감지부가 취득하는 상기 관절부의 회전각을 포함하는 감지 관절 정보에 기초하여, 상기 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력 토크(τext)를 산출하는 외부 토크 산출 단계(S20)와, 상기 제어부가 상기 로봇 머니퓰레이터에 인가하고 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 작업 유형에 따라, 상기 제어부가 구비하고 상기 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 판단하기 위한 충돌 감지기를 산출하는 충돌 감지기 산출 단계(S30)와, 상기 제어부가 상기 충돌 감지기와 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 충돌 판단 기준값과 비교하여 상기 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 확인하고 작업 유형을 수행하는 작업 수행 모드와 충돌 상황에 대응하는 충돌 모드 중 실행되어야 할 실행 모드를 설정하는 충돌 판단 단계(S40)와, 상기 충돌 판단 단계(S40)에서의 판단 결과 및 설정 모드에 따라 해당 모드를 실행하는 모드 실행 단계(S50)를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 머니퓰레이터 제어 방법을 제공한다.

[0015] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 외력 토크 산출 단계(S20)는: 상기 구동 모터에 인가되는 모터 전류 및 상기 관절부의 회전각을 포함하는 감지 관절 정보를 감지하는 외력 토크 산출 감지 단계(S21)와, 상기 모터 전류, 상기 감지 관절 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여, 상기 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력 토크를 확정하는 외력 토크 산출 확정 단계(S23)를 포함할 수도 있다.

[0016] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 외력 토크 확정 단계(S23)에서, 상기 외력 토크(τext)는: $\tau_{ext}=\tau_j-\{M(q)\ddot{q}+C(q,\dot{q})\dot{q}+g(q)\}$ 이고, M(q)는 상기 로봇 머니퓰레이터의 각 관절부를 통하여 연결되는 관절 링크의 관성 행렬을, $C(q,\dot{q})$ 는 코리올리 및 구심력을 나타내는 비선형 항을 나타내는 행렬을, g(q)는 중력 벡터를, $\ddot{q}$, $\dot{q}$, $q$는 각각 관절부의 가속도 벡터, 속도 벡터, 변위 벡터이고, M,C,g는 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 상기 로봇 머니퓰레이터의 물성치일 수도 있다.

[0017] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 충돌 감지기 산출 단계는: 상기 로봇 머니퓰레이터의 자유 운동 상태를 이루는 자유 운동 모드, 대상체 또는 작업도구를 이송하는 이송 운동 모드, 및 상기 로봇 머니퓰레이터의 외부 환경과 물리적으로 접촉하는 동작을 실행하는 컨택 운동 모드 중 상기 사전 설정 데이터에 포함되고 상기 제어부가 인가하여 실행되는 작업 유형을 확인하는 작업 유형 확인 단계(S31)와, 상기 작업 유형 확인 단계(S31)에서 확인된 작업 유형을 판단하는 작업 유형 판단 단계(S33,S35,S37)와, 상기 작업 유형 판단 단계에서의 판단 결과에 대응하는 해당 충돌 감지기를 확정하는 충돌 감지기 확정 단계(S34,S36,S38)을 포함할 수도 있다.

[0018] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 작업 유형 판단 단계에서 판단된 작업 유형이 상기 자유 운동 모드인 경우, 상기 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 유발되는 외부 토크(τc)이고, 상기 충돌 감지기는: $\tau_{ext}=\tau_c$ 일 수도 있다.

[0019] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 작업 유형 판단 단계에서 판단된 작업 유형이 상기 이송 운동 모드인 경우, 상기 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 유발되는 외부 토크(τc)이고, 상기 로봇 머니퓰레이터가 파지하는 대상체에 작용하는 중력 벡터(Fg) 및 관성 벡터(Fi)의 합력(Fg)에 의한 외부 토크(τp)라 할 때, 상기 외력 토크(τext)는: $\tau_{ext}=\tau_c+\tau_p$ 이고, 상기 충돌 감지기는: $d_p=(I-J_pJ_p^+)\tau_{ext}=(I-J_pJ_p^+)\tau_p+(I-J_pJ_p^+)\tau_c=(I-J_pJ_p^+)\tau_c$ 일 수도 있다.

[0020] 여기서, $F_i=\begin{bmatrix} f_i \\ n_i \end{bmatrix}$, $F_g=\begin{bmatrix} f_g \\ n_g \end{bmatrix}$ 이고, 상기 fi,fg는 상기 관성 벡터 및 상기 중력벡터의 힘성분을, 상기 ni,ng는 상기 관성 벡터 및 상기 중력벡터의 모멘트 성분을 나타내고, 상기 외력 토크(τext)를 상기 외부 토크(τp)가 존재하는 공간 Sp에 수직한 공간 ⊥Sp로 투영하기 위한 투영 행렬(P)은: $P=I-J_pJ_p^{+}$ 이고, I는 항등행렬, $J_p^{+}$ 는 Jp의 의사역행렬이고, $J_p=J^T\left(B_p\left(B_p{}^TB_p\right)^{-1}B_p{}^T\right)$ 이고, J는 상기 로봇 머니퓰레이터의 자코비안 행렬이고, $J^T$ 는 자코비안 행렬의 전치행렬이고, Bp는 Fp가 존재하는 공간의 기저(basis)로 구성된 행렬로, $B_p=\begin{bmatrix} & & 0 & 0 & 0 \\ u_i & u_g & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 이고, $B_p{}^T$ 는 Bp의 전치행렬이고, ui와 ug 는 각 각 상기 fi,fg와 방향이 같은 단위 벡터를 나타낼 경우, $P\tau_p=\left(I-J_pJ_p^{+}\right)\tau_p=0$ 일 수도 있다.

[0021] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 작업 유형 판단 단계에서 판단된 작업 유형이 상기 컨택 운동 모드인 경우, 상기 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 유발되는 외부 토크(τc)이고, 상기 로봇 머니퓰레이터의 단부에 작용하는 접촉 외력(Fe)에 의한 외부 토크(τe)라 할 때, 상기 외력 토크(τext)는: $\tau_{ext}=\tau_c+\tau_e$ 이고, J는 상기 로봇 머니퓰레이터의 자코비안 행렬이고, $J^T$ 는 자코비안 행렬의 전치행렬이고, Be는 Fe가 존재하는 공간의 기저(basis)로 구성된 행렬이고, $B_e=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 이며, 상기 충돌 감지기는: $d_e=\left(I-J^T\left(J^{T^{+}}\right)\right)\tau_{ext}=\left(I-J^T\left(J^{T^{+}}\right)\right)\tau_e+\left(I-J^T\left(J^{T^{+}}\right)\right)\tau_c=\left(I-J^T\left(J^{T^{+}}\right)\right)\tau_c$ 일 수도 있다.

[0022] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 충돌 판단 단계(S40)는: 상기 로봇 머니퓰레이터의 작업 유형을 확인하는 판단 작업 유형 확인 단계(S41)와, 상기 판단 유형 확인 단계(S31)에서 확인된 작업 유형을 판단하는 판단 작업 유형 판단 단계(S43,S45,S47)와, 상기 판단 작업 유형 판단 단계에서 확인된 작업 유형에 따라, 상기 판단 작업 유형 판단 단계에서의 판단 결과에 대응하는 해당 충돌 감지기를 통하여 충돌 여부를 확인하는 충돌 여부 판단 단계(S44,S46,S48)를 포함할 수도 있다.

[0023] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 충돌 여부 판단 단계에서 판단 결과에 따라 상기 제어부가

실행 인가할 모드를 설정하는 모드 설정 단계를 더 구비할 수도 있다.

[0024] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 충돌 여부 판단 단계에서 상기 충돌 감지기의 값이 영이 아닌 경우, 상기 제어부는 상기 모드 설정 단계에서 실행되어야 할 모드는 상기 작업 유형을 실행하는 작업 모드로 설정할 수도 있다.

[0025] 상기 로봇 머니퓰레이터 제어 방법에 있어서, 상기 충돌 여부 판단 단계에서 상기 충돌 감지기의 값이 영인 경우, 상기 제어부는 상기 모드 설정 단계에서 실행되어야 할 모드는 상기 작업 유형의 실행을 중단하고 충돌 상태에 대응하는 충돌 모드로 설정할 수도 있다.

## *발명의 효과*

[0026] 상기한 바와 같은 구성을 갖는 본 발명에 따른 로봇 머니퓰레이터 충돌 감지 제어 방법은 다음과 같은 효과를 갖는다.

[0027] 본 발명에서 고안된 충돌 감지기 및 로봇 머니퓰레이터 제어방법을 사용하면 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 물리적인 상화작용을 수행하면서 충돌을 감지할 수 있다. 이러한 사실을 바탕으로 요약한 본 발명의 효과는 다음과 같다.

[0028] 1) 본 발명에서 고안한 충돌 감지기를 사용하여 로봇 머니퓰레이터가 작업자 또는 외부환경과 충돌한 경우에 이를 감지할 수 있으며, 충돌 감지 결과에 따라 로봇 머니퓰레이터의 작업을 일시적으로 중단함으로써, 로봇 머니퓰레이터과 협업하는 작업자의 상해와 작업물 또는 로봇 머니퓰레이터의 파손을 방지할 수 있다.

[0029] 2) 제안된 충돌 감지기는 충격력의 크기, 주파수와 상관없이 모든 충돌을 감지할 수 있고, 로봇 머니퓰레이터가 파지한 물체에 대한 동역학 정보와 같은 외부환경의 모델 정보를 전혀 사용하지 않는다. 또한, 로봇 머니퓰레이터 말단에 부착된 고가의 6축 힘/토크 센서를 필요로 하지 않는다. 따라서 그 적용범위가 매우 넓고, 다양한 산업 및 서비스 현장에서 사용되는 로봇 머니퓰레이터에 적용할 수 있다.

[0030] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예들을 참고로 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허 청구 범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

## *도면의 간단한 설명*

[0031] 도 1은 본 발명의 간략화된 로봇 머니퓰레이터(10)의 개략적인 상태도이다.

도 2는 본 발명의 로봇 머니퓰레이터(10)의 개략적인 블록선도이다.

도 3 내지 도 7은 본 발명의 로봇 머니퓰레이터 제어 방법의 개략적인 내지 세부적인 흐름도이다.

도 8은 본 발명의 로봇 머니퓰레이터에 인가된 외부토크의 산출 원리를 나타낸다.

도 9는 본 발명의 로봇 머니퓰레이터가 수행하는 작업을 구분한 것이다.

도 10은 로봇 머니퓰레이터가 물체를 이송하는 작업을 수행하는 경우에 로봇 머니퓰레이터에 인가될 수 있는 외력들이다.

도 11은 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉하는 작업을 수행하는 경우에 로봇 머니퓰레이터에 인가될 수 있는 외력들 이다.

도 12는 고안된 충돌 감지기를 이용하여 로봇 머니퓰레이터를 제어하는 알고리즘의 흐름도이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0032] 이하에서는 본 발명에 따른 로봇 머니퓰레이터 충돌 감지기 및 로봇 머니퓰레이터 충돌 감지 제어 방법에 대하여 도면을 참조하여 설명하기로 한다.

[0033] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 세 가지 과정으로 구성된다. 첫 번째 과정은 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외부토크를 산출하는 과정이다. 두 번째 과정은 로봇 머니퓰레이터가 충돌감지기를 이용하여 충돌을 감지하는 과정이다. 이 과정에서 로봇 머니퓰레이터에 적용되는 충돌감지기는 로봇 머니퓰레이터가 수행하는 작업에 따라 세 가지로 구분된다. 세 번째 과정은 충돌의 감지 여부를 바탕으로 로봇 머니퓰레이터가 적절히 대응

하는 과정인데, 이러한 로봇 머니퓰레이터 제어 방법을 실행하기 위하여 로봇 머니퓰레이터(10)가 제공된다.

[0034] 본 발명에 따른 로봇 머니퓰레이터 제어 방법은 로봇 머니퓰레이터(10)의 동작시 충돌로 인한 외력을 감지하는 충돌 감지기를 제공하여 보다 신속하고 정확한 충돌 감지를 통한 제어를 가능하게 할 수 있다.

[0035] 본 발명의 로봇 머니퓰레이터 제어 방법이 실행되는 로봇 머니퓰레이터(10)는 하나 이상의 관절부(100)를 구비하는데, 관절부(100)에는 가동을 위한 구동 모터(1)가 배치된다. 도 1에는 간략화된 로봇 머니퓰레이터(10)의 개략적인 상태도가 도시되고, 도 2에는 로봇 머니퓰레이터(10)의 개략적인 블록선도가 도시되고, 도 3 내지 도 7에는 본 발명의 로봇 머니퓰레이터 제어 방법의 개략적인 내지 세부적인 흐름도가 도시된다. 도 1에서 일축 로봇 머니퓰레이터를 도시하였으나, 본 발명은 이에 국한되지 않고 다축 로봇 머니퓰레이터에도 적용 가능하다.

[0036] 본 발명의 로봇 머니퓰레이터 제어 방법은 고가의 토크 센서 내지 가속도 센서를 배제하고 엔코더로서의 감지부의 관절 위치 측정부를 통하여 감지되는 회전각과 구동 모터에 인가되는 전류를 이용하여 각 관절부에서의 토크를 관측 추정 산출할 수도 있는데, 이러한 추정 토크는 로봇 머니퓰레이터(10)의 힘-토크 제어를 실행하는데 사용되거나, 로봇 머니퓰레이터(10)의 이상 작동 여부를 감지 대응하는데 사용되거나, 또는 관절에서의 로봇 머니퓰레이터(10)와 외부 환경, 예를 들어 작업자 내지 물체 등과의 충돌로 인하여 발생하여 로봇 머니퓰레이터(10)에 인가되는 비정상적인 외력에 의한 외력 토크를 감지하는데 사용될 수 있는 등 다양한 제어 용도로 사용될 수 있다.

[0037] 도 2에 도시된 바와 같이, 로봇 머니퓰레이터(10)는 제어부(20)와 저장부(30)를 구비하고, 제어부(20)와 연결되는 연산부(40)를 구비할 수 있다. 입력부(60)를 통하여 작업자에 의한 입력 정보 제공도 가능한데, 입력부(60)는 별도의 통신부(50)를 통하여 제어부(20)와 신호 전달을 이루는 구조를 취할 수도 있고 경우에 따라 입력부(60)가 직접 제어부(20)와 직결되어 신호 전달을 이루는 구조를 취할 수도 있는 등 설계 사양에 따라 다양한 변형이 가능하다.

[0038] 또한, 여기서 구체적으로 명시되지는 않으나 로봇 머니퓰레이터(10)는 관절 토크 센서 기반으로 힘제어를 실행하여 로봇 머니퓰레이터(10)의 엔드이펙터, 즉 말단에서 작업 대상에 대한 소정의 힘을 가하여 설정된 소정의 작업을 실행하는데, 이는 관절 토크 센서 기반의 힘제어의 통상적인 과정을 이루는바 이에 대한 구체적 설명은 생략한다.

[0039] 로봇 머니퓰레이터(10)는 제어부(20)를 포함하는데, 제어부(20)는 감지부(5)에서 감지되는 관절부(100)의 관절 토크인 감지 관절 토크 정보를 포함하는 감지 정보를 취득하여 제어부(20)로 전달한다.

[0040] 감지부(5)는 관절 위치 측정부(2)와 관절 속도 측정부(3)를 포함할 수 있는데, 관절 위치 측정부(2)와 관절 속도 측정부(3)는 구동 모터(1)에 내장될 수 있고, 경우에 따라 관절 위치 측정과 관절 속도 측정은 구동 모터(1)에 인가되는 전류 신호를 사용하여 연산되어 추출 사용되는 구조를 취할 수도 있고, 또는 구동 모터 및/또는 감속기(미도시)를 통하여 연결되는 별도의 외부 엔코더를 통하는 등 설계 사양에 따라 다양한 구성이 가능하다. 관절 위치 측정부(2)와 관절 속도 측정부(3)는 관절부(100)에 배치되는 엔코더로 구현될 수 있고 경우에 따라 회전 속도를 감지하기 위한 자이로 센서를 더 구비할 수도 있으나 본 실시예는 엔코더로 관절부에서의 관절 위치 측정 및 관절 속도 측정을 실행하는 것으로 구현하여 제조 원가를 절감하고 구성을 간단하게 형성하도록 한다.

[0041] 또한, 본 실시에에서는 각 관절에서의 각가속도를 감지하는 별도의 관절 가속도 측정부를 구비하지 않고, 가속도 항목을 배제하는 방식의 동역학적 모델을 통하여 각 관절에서의 회전각 및 각속도를 이용하여 각 관절부에서의 마찰토크를 추정하는 방식을 중심으로 설명한다.

[0042] 저장부(30)는 하기되는 제어부(20)와 연결되는데, 저장부(30)는 사전 설정 데이터를 포함하여 소정의 제어 신호인가 내지 관측 기능을 통한 예측치 연산 등의 기초가 되는 사전 설정 추정 데이터를 포함하는 정보 데이터를 제공할 수 있다.

[0043] 제어부(20)는 제어기(21)와 충돌 감지기(25)를 포함하고 경우에 따라 관측기(23)를 더 포함하는데, 제어기(21)는 감지부(5)로부터 감지된 감지 정보 내지 작업자에 의하여 입력부(6)를 통하여 입력되는 입력 정보에 기초하여 구동 모터(1)에 소정의 구동 제어 신호를 인가함으로써 로봇 머니퓰레이터(10)를 구성하는 가동부인 링크를 가동시키기 위한 구동력을 제공하거나 관측기(23)에서 관측되는 마찰 추정 토크를 이용하여 실제로 구동 모터 및/또는 감속기에서 발생하는 마찰 토크를 보상하여 목표로 설정된 구동력을 제공하도록 구동력 제어를 실행하는데 사용될 수도 있으며, 이러한 산출 정보를 이용하여 충돌 감지기(25)가 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를

감지 판단할 수도 있다.

[0044] 또한, 본 발명에 따른 제어부(20)의 제어기(21)는 충돌 감지기(25)에서 감지 판단된 충돌 여부를 정보를 활용하여 관절부에서의 오작동 여부 내지는 현재 접촉이 예상치 못한 충돌인지 예상된 충돌인지 여부를 판단하여 각각의 경우에 대한 소정의 사전 설정된 작동 모드를 실행하기 위한 제어 신호를 인가할 수도 있다.

[0045] 경우에 따라 관측기(23)는 감지부(5)로부터 감지된 감지 관절 정보를 포함하는 감지 정보 및 저장부(30)에 저장되는 사전 설정 데이터에 기초하여 소정의 관절부를 통하여 연결되는 관절 링크(도 1 참조)의 가동을 예측하여 관절부에서 발생하는 기계적 요소로 인한 마찰 토크( $\tau f$ ) 가해지는 관절 토크를 추정 산출할 수도 있다.

[0046] 본 발명에 따른 로봇 머니퓰레이터 제어 방법은 외부 토크 산출 단계(S20)와, 충돌 감지기 산출 단계(S30)와, 충돌 판단 단계(S40)와, 모드 실행 단계(S50)를 포함한다.

[0047] 먼저, 외부 토크 산출 단계(S20)에서는 로봇 머니퓰레이터의 제어부가 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력 토크( $\tau ext$ )를 산출하는데, 로봇 머니퓰레이터는 구동 모터를 통하여 가동되는 관절부를 구비하고 로봇 머니퓰레이터 제어부의 제동를 통하여 힘제어 동작을 이룬다. 로봇 머니퓰레이터의 제어부(20)가 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력 토크( $\tau ext$ )를 산출하는데, 이러한 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력 토크( $\tau ext$ ) 산출은 사전 설정 데이터 및 감지 관절 정보에 기초한 산출 연산 과정으로 이루어진다. 사전 설정 데이터는 제어부(20)와 연결되는 저장부(30)에 사전 설정 저장되고, 감지 관절 정보는 제어부(20)의 감지 제어 신호에 따라 감지부(5)가 취득하는 정보로서 관절부의 회전각을 포함한다.

[0048] 그런 후, 충돌 감지기 산출 단계(S30)가 실행된다. 앞서 기술한 바와 같이, 제어부(20)는 제어기(21)와 충돌 감지기(25)를 포함하고 경우에 따라 관측기(23)를 더 포함할 수 있는데, 제어기(21)는 감지부(5)로부터 감지된 감지 정보 내지 작업자에 의하여 입력부(6)를 통하여 입력되는 입력 정보에 기초하여 구동 모터(1)에 소정의 구동 제어 신호를 인가함으로써 로봇 머니퓰레이터(10)를 구성하는 가동부인 링크를 가동시키기 위한 구동력을 제공하거나 관측기(23)에서 관측되는 마찰 추정 토크를 이용하여 실제로 구동 모터 및/또는 감속기에서 발생하는 마찰 토크를 보상하여 목표로 설정된 구동력을 제공하도록 구동력 제어를 실행하는데 사용될 수도 있으며, 이러한 산출 정보를 이용하여 충돌 감지기(25)가 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 감지 판단할 수도 있다.

[0049] 충돌 감지기 산출 단계(S30)에서 이러한 제어부(20)의 충돌 감지기(25)는 로봇 머니퓰레이터의 작업 유형에 따라, 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 판단한다.

[0050] 그런 후, 충돌 판단 단계(S40)에서 제어부(20)의 제어기(21)는 충돌 감지기(25)와 사전 설정 데이터에 포함되는 충돌 판단 기준값과 비교하여 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 확인하고 작업 유형을 수행하는 작업 수행 모드와 충돌 상황에 대응하는 충돌 모드 중 실행되어야 할 실행 모드를 설정한다.

[0051] 그런 후, 모드 실행 단계(S50)가 실행되는데, 모드 실행 단계(S50)에서 제어부(20)의 제어기(21)는 충돌 판단 단계(S40)에서의 판단 결과 및 설정 모드에 따라 해당 모드를 실행한다.

[0052] 보다 상세하게, 앞서 외력 토크 산출 단계(S20)는 외력 토크 산출 감지 단계(S21)와, 외력 토크 산출 확정 단계(S23)를 포함한다.

[0053] 외력 토크 산출 감지 단계(S21)에서는 제어부(20)의 제어기(21)의 감지 제어 신호에 따라 구동 모터에 인가되는 모터 전류 및 로봇 머니퓰레이터의 관절부의 회전각을 포함하는 감지 관절 정보가 감지된다.

[0054] 그런 후, 외력 토크 산출 확정 단계(S23)에서 외력 토크가 확정 산출되는데, 외력 토크 산출 확정 단계(S23)에서는 이렇게 감지 산출된 감지 관절 정보와 모터 전류 및 저장부(30)에 저장된 사전 설정 데이터에 기초하여 외력 토크를 확정 산출한다.

[0055] 외력 토크 확정 단계(S23)에서, 제어부(20)는 외력 토크( $\tau ext$ )를 다음과 같이 확정 산출한다.

[0056] 외부토크를 산출하는 과정의 주 원리는 로봇 머니퓰레이터의 각 관절에서 출력된 토크와 실제로 로봇 머니퓰레이터의 링크에 인가된 토크를 비교하는 것이다. 도 1에 나타낸 바와 같이 인간-로봇 머니퓰레이터 충돌이 발생하면 로봇 머니퓰레이터에 외력이 인가되고, 이 힘으로 인하여 로봇 머니퓰레이터의 각 관절에는 외부토크가 가해진다. 이러한 경우에 로봇 머니퓰레이터의 각 관절에 장착된 모터 및 감속기에서 출력된 토크 중 일부는 외부토크를 보상하는 데 사용되므로 손실되고, 손실된 토크 이외의 나머지 토크는 각 링크에 전달되어 로봇 머니퓰레이터의 구동에 사용된다. 이러한 사실을 수식으로 표현하면 외력 토크( $\tau ext$ )는 아래와 같다.

[0057] $$\tau_{ext}=\tau_j-\{M(q)\ddot{q}+C(q,\dot{q})\dot{q}+g(q)\}$$

[0058] 여기서, $\tau_{ext}$는 충돌 등의 외력에 의해서 로봇 머니퓰레이터의 각 관절에 작용하는 외부토크 벡터이고, $\tau_j$은 각 관절에 설치된 모터와 감속기에 의해서 로봇 머니퓰레이터 링크에 전달되는 관절토크 벡터이다. M(q)는 로봇 머니퓰레이터의 각 관절부를 통하여 연결되는 관절 링크의 관성 행렬을, $C(q,\dot{q})$는 코리올리 및 구심력을 나타내는 비선형 항을 나타내는 행렬을, g(q)는 중력 벡터를, $\ddot{q}$, $\dot{q}$, $q$는 각각 관절부의 가속도 벡터, 속도 벡터, 변위 벡터이고, M,C,g는 상기 사전 설정 데이터에 포함되는 상기 로봇 머니퓰레이터의 물성치이다. $\tau_j$는 로봇 머니퓰레이터에 설치된 관절토크센서 또는 구동모터에 인가되는 전류의 크기로부터 측정 또는 추정할 수 있고, M, $C$, $g$는 로봇 머니퓰레이터의 물성치 정보를 이용하여 계산할 수 있다. $q$, $\dot{q}$은 엔코더를 이용하여 측정할 수 있다. $\dot{q}$ 은 엔코더를 이용하여 측정할 경우 신뢰성이 낮으므로 가속도 센서를 추가적으로 로봇 머니퓰레이터에 장착하여 측정할 수 있다. 가속도 센서를 사용할 수 없는 경우에는, 종래에 개발된 다양한 관측기를 이용하여 $\dot{q}$ 을 사용하지 않고 $\tau_{ext}$를 관측할 수도 있다.

[0059] 앞서 기술한 바와 같이, 충돌 감지기 산출 단계(S30)에서 이러한 제어부(20)의 충돌 감지기(25)는 로봇 머니퓰레이터의 작업 유형에 따라, 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 판단하는데, 충돌 감지기 산출 단계(S30)는 작업 유형 확인 단계(S31)와, 작업 유형 판단 단계(S33,S35,S37)와, 충돌 감지기 확정 단계(S34,S36,S38)를 포함한다.

[0060] 작업 유형 확인 단계(S31)에서 제어부(20)의 제어기(21)는 로봇 머니퓰레이터의 자유 운동 상태를 이루는 자유 운동 모드, 대상체 또는 작업도구를 이송하는 이송 운동 모드, 및 로봇 머니퓰레이터의 외부 환경과 물리적으로 접촉하는 동작을 실행하는 컨택 운동 모드 중 사전 설정 데이터에 포함되고 상기 제어부가 인가하여 실행되는 작업 유형을 확인한다.

[0061] 작업 유형 판단 단계(S33,S35,S37)에서는 제어부(20)가 작업 유형 확인 단계(S31)에서 확인된 작업 유형을 판단한다. 충돌 감지기 확정 단계(S34,S36,S38)에서는 제어부(20)는 작업 유형 판단 단계에서의 판단 결과에 대응하는 해당 충돌 감지기를 확정한다.

[0062] 작업 유형 판단 단계(S33,S35,S37)에서 확인되고 충돌 감지기 확정 단계(S34,S36,S38)에서 해당 충돌 감지기가 선택되는 작업 유형은 본 실시예에서 3가지로 구분된다.

[0063] 즉, 본 발명의 로봇 머니퓰레이터가 충돌감지기를 이용하여 충돌을 감지하는 과정의 핵심 원리는 작업수행을 위해서 의도적으로 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력과 무관하고, 충돌로 인하여 로봇 머니퓰레이터에 인가된 충격력에만 반응하는 충돌감지기를 이용하는 것인데, 본 발명의 로봇 머니퓰레이터가 수행하는 작업의 일반적인 유형은 도 9에서와 같이 세 가지로 경우로 구분할 수 있다.

[0064] 첫 번째 경우는 로봇 머니퓰레이터가 외부환경와 물리적인 접촉이 없이 자유공간 상에서 움직이는 경우이다. 두 번째 경우는 로봇 머니퓰레이터가 작업물 또는 작업도구와 같은 물체를 파지한 채로 자유공간 상에서 움직이는 경우이다. 세 번째 경우는 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉하여 작업을 수행하는 경우이다. 이러한 세 가지 경우는 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력의 특징이 서로 다르므로 각기 다른 충돌감지기를 사용한다.

[0065] 먼저, 첫번째의 경우로 로봇 머니퓰레이터가 외부환경와 물리적인 접촉을 수행하지 않고 움직이는 경우에는, 로봇 머니퓰레이터가 정상적으로 동작하는 상황에서 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력은 존재하지 않는다. 하지만 로봇 머니퓰레이터과 작업자 사이에 충돌이 발생하면 충격력 $F_c$가 로봇 머니퓰레이터에 작용하며, 이러한 인간-로봇 머니퓰레이터 충돌 상황에서는 $F_c$로 인하여 각 관절에 유발되는 외부토크 $\tau_c$를 바탕으로 외력 토크 $\tau_{ext}$를 다음과 같이 표현할 수 있다.

[0066] $$\tau_{ext}=\tau_c$$

[0067] 따라서 로봇 머니퓰레이터가 외부환경와 물리적인 접촉을 수행하지 않는 경우에는 상기한 방법으로 산출된 $\tau_{ext}$를 이용하여 $\tau_c$와 $F_c$의 발생 여부를 판단할 수 있고, $\tau_{ext}$를 충돌감지기로 사용할 수 있다. 달리 표현하면, 제

어부(20)가 작업 유형 판단 단계(S33,S35,S37)에서 판단된 작업 유형이 자유 운동 모드인 경우, 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 외부 토크(τc)가 유발되고, 제어부(20)의 충돌 감지기(25)는 $\tau_{ext}=\tau_c$로 설정 확인한다.

[0068] 반면, 두번째의 경우로 로봇 머니퓰레이터가 작업물이나 작업도구를 이송하는 작업을 수행하는 경우에는 로봇 머니퓰레이터가 정상적으로 운행되는 상황에서도 로봇 머니퓰레이터가 파지한 물체에 작용하는 중력과 관성력이 로봇 머니퓰레이터의 말단부에 전달된다. 도 10은 은 로봇 머니퓰레이터가 작업물 또는 작업도구를 이송하는 작업을 수행하는 경우에 로봇 머니퓰레이터에 인가될 수 있는 외력들을 나타낸 것이다. 도 10의 $F_g$와 $F_i$는 각각 로봇 머니퓰레이터가 파지한 물체에 작용하는 중력 벡터과 관성력 벡터이고, $F_g$와 $F_i$는 각각 힘 성분 $f_g$, $f_i$와 모멘트 성분 $n_g$, $n_i$로 구성된다. $F_p$는 $F_g$와 $F_i$의 합력으로 로봇 머니퓰레이터가 정상적인 작업을 수행하는 도중에는 로봇 머니퓰레이터에 인가되는 외력이다. 충돌이 발생한 경우에는 $F_p$와 $F_c$가 동시에 로봇 머니퓰레이터에 작용하며, $\tau_{ext}$에는 $F_p$로 인하여 각 관절에 인가되는 외부토크 $\tau_p$와 충돌로 인하여 발생한 외부토크 $\tau_c$가 모두 포함되어 있다. 따라서 $\tau_{ext}$를 다음과 같이 표현할 수 있다.

[0069] $$\tau_{ext}=\tau_c+\tau_p$$

[0070] 따라서 충돌이 발생하지 않아 $\tau_c = 0$인 상황에서도 $\tau_p \neq 0$이므로 $\tau_{ext} \neq 0$이며, 단순히 $\tau_{ext}$를 바탕으로 충돌을 감지할 수 없으며, 로봇 머니퓰레이터가 물체를 이송하는 작업을 수행하는 경우에는 본 발명을 통해 고안된 충돌감지기를 사용한다.

[0071] 즉 달리 표현하자면, 작업 유형 판단 단계에서 판단된 작업 유형이 이송 운동 모드인 경우, 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 유발되는 외부 토크(τc)이고, 로봇 머니퓰레이터가 파지하는 대상체에 작용하는 중력 벡터(Fg) 및 관성 벡터(Fi)의 합력(Fg)에 의한 외부 토크(τp)라 할 때, 외력 토크(τext)와 충돌 감지기는 다음과 같이 표현된다.

[0072] $$\tau_{ext}=\tau_c+\tau_p$$

[0073] $$d_p=\left(I-J_pJ_p^{+}\right)\tau_{ext}=\left(I-J_pJ_p^{+}\right)\tau_p+\left(I-J_pJ_p^{+}\right)\tau_c=\left(I-J_pJ_p^{+}\right)\tau_c$$

[0074] 여기서, $F_i=\begin{bmatrix} f_i \\ n_i \end{bmatrix}$, $F_g=\begin{bmatrix} f_g \\ n_g \end{bmatrix}$ 이고, fi,fg는 관성 벡터 및 중력벡터의 힘성분을, ni,ng는 관성 벡터 및 상기 중력벡터의 모멘트 성분을 나타낸다.

[0075] 그리고, 외력 토크(τext)를 외부 토크(τp)가 존재하는 공간 Sp(도 13 참조)에 수직한 공간 ⊥Sp로 투영하기 위한 투영 행렬(P)은 다음과 같이 표현된다.

[0076] $P=I-J_pJ_p^{+}$ 인데, 여기서 I는 항등행렬, $J_p^{+}$ 는 Jp의 의사역행렬이고, $J_p=J^T\left(B_p\left(B_p{}^TB_p\right)^{-1}B_p{}^T\right)$ 이고, J는 상기 로봇 머니퓰레이터의 자코비안 행렬이고, $J^T$ 는 자코비안 행렬의 전치행렬이고, Bp는 Fp가 존재하는 공간의 기저(basis)로 구성된 행렬로,

$$B_p = \begin{bmatrix} & & 0 & 0 & 0 \\ u_i & u_g & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$ 이고, $B_p{}^T$ 는 Bp의 전치행렬이고, ui와 ug 는 각각 상기 fi,fg와 방향이 같은 단위 벡터를 나타낼 경우, $P\tau_p = (I - J_p J_p^{+})\tau_p = 0$ 이다.

[0077] 이를 보다 상세하게 기술하면, 고안된 충돌감지기의 주 원리는 관절 토크센서에 의해서 측정되거나 모터전류로부터 추정된 $\tau_{ext}$를 특정 선형공간으로 투영함으로써, $\tau_{ext}$에 포함된 $\tau_p$를 소거하는 것이다.

[0078] $\tau_{ext}$, $\tau_c$, $\tau_p$는 모두 벡터이며, 임의의 벡터를 해당 벡터가 존재하는 공간과 수직한 공간으로 투영한 결과는 항상 0이 된다.

[0079] 즉, 도 13에 도시된 바와 같이, 관절 토크 벡터는 서로 직교하는 xyz 축으로 구성된 3차원 공간에 존재하며, 벡터 $\tau_p$는 항상 xy 평면에 존재한다. 따라서, $\tau_p$가 존재하는 xy평면은 2차원으로 xyz 축으로 구성된 3차원 공간의 부분공간이고, z축은 항상 수직이다. 즉, 본 실시예에서 공간 Sp가 xy평면이고, 수직한 공간 ⊥Sp는 z축이다. 도 13에서 충돌 감지기 d는 임의의 관절토크 벡터를 Sp(도 13 참조)에 수직한 공간 ⊥Sp에 해당하는 z축으로 투영한 결과이다.

[0080] 따라서 벡터 $\tau_p$를 $\tau_p$가 존재하는 공간 $S_p$와 수직한 공간 $\perp S_p$으로 투영하면, 그 결과가 항상 0이며, $\tau_{ext}$를 공간 $\perp S_p$으로 투영함으로써 $\tau_{ext}$에 포함된 $\tau_p$를 소거하고, $\tau_c$에만 반응하는 충돌감지기를 고안할 수 있다.

[0081] $\tau_{ext}$를 공간 $\perp S_p$으로 투영하기 위해서는 임의의 벡터를 공간 $\perp S_p$으로 투영하기 위한 투영행렬 $P$가 필요하며, $P$는 앞서 기술한 바와 같이 정의된다.

[0082] $$P = I - J_p J_p^{+}$$

[0083] 여기서 $I$는 항등행렬(identity matrix)이고, $J_p^{+}$는 $J_p$의 의사역행렬(pseudo inverse matrix)이다. 위 수식의 $J_p$는 다음과 같이 정의한다.

[0084] $$J_p = J^T\left(B_p\left(B_p{}^T B_p\right)^{-1} B_p{}^T\right)$$

[0085] 여기서 $J$는 로봇 머니퓰레이터의 자코비안 행렬이고, $J^T$는 자코비안 행렬의 전치행렬이다. $B_p$는 $F_p$가 존재하는 공간의 기저(basis)로 구성된 행렬이고, $B_p^T$는 $B_p$의 전치행렬이며, 위 수식에서 행렬 $B_p$는 다음과 같이 정의 된다.

$$B_p = \begin{bmatrix} & & 0 & 0 & 0 \\ u_i & u_g & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0086]

[0087] 여기서 $u_i$와 $u_g$는 각각 $f_i$, $f_g$와 방향이 같은 단위벡터(unit vector)이다. $f_i$는 로봇 머니퓰레이터 말단의 가속도와 방향이 같고, 로봇 머니퓰레이터 말단의 가속도는 로봇 머니퓰레이터의 제어과정에서 사용되는 각 관절 가속도의 목표값으로부터 추정할 수 있다. 또한, $f_g$는 중력방향으로 작용하므로 항상 일정한 방향으로 작용한다. 따라서 위 수식의 $B_p$는 로봇 머니퓰레이터가 파지하는 있는 물체에 대한 정보를 모르는 상태에서도 구성할 수 있다.

[0088] 투영행렬 $P$는 임의의 벡터를 공간 $\perp S_p$으로 투영하며, 상기한 바와 같이 $\tau_p$를 공간 $\perp S_p$으로 투영한 결과는 항상 0이다. 즉, 아래 수식과 같은 관계가 성립한다.

$$P\tau_p = \left(I - J_p J_p^{+}\right)\tau_p = 0$$

[0089]

[0090] 결과적으로 $\tau_{ext}$를 공간 $\perp S_p$으로 투영함으로써 $\tau_{ext}$에 포함된 $\tau_p$를 소거할 수 있으며, 로봇 머니퓰레이터가 물체를 이송하는 작업을 수행하는 경우에 사용하는 충돌 감지기 $d_p$는 아래와 같다.

$$d_p = \left(I - J_p J_p^{+}\right)\tau_{ext} = \left(I - J_p J_p^{+}\right)\tau_p + \left(I - J_p J_p^{+}\right)\tau_c = \left(I - J_p J_p^{+}\right)\tau_c$$

[0091]

[0092] 위 수식에서 확인할 수 있듯이 $d_p$는 $\tau_c$의 함수이며, $\tau_p$와는 무관하다. 따라서 고안된 충돌감지 기를 이용하여 로봇 머니퓰레이터가 물체를 이송하는 작업을 수행하는 경우에서도 충돌을 감지할 수 있다. 또한, 로봇 머니퓰레이터가 이송하는 물체에 대한 동역학 모델을 전혀 사용하지 않으므로, 미지의 로봇 머니퓰레이터가 미지의 물체를 이송하는 상황에서도 적용 가능하다. 그리고 충격력의 주파수와도 전혀 무관하게 모든 충돌을 감지할 수 있다.

[0093] 세번째로, 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉하는 작업을 수행하는 경우에는 로봇 머니퓰레이터과 외부환경 사이의 접촉력이 로봇 머니퓰레이터에 전달된다. 도 11에는 로봇 머니퓰레이터가 이러한 작업을 수행하는 경우 로봇 머니퓰레이터에 인가될 수 있는 외력들이 도시된다. 도 11의 $F_e$는 로봇 머니퓰레이터의 말단부(즉, 작업도구나 작업물)에 전달되는 외력으로, 충돌이 발생하지 않아도 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉을 유지하는 동안 로봇 머니퓰레이터에 지속적으로 작용하는 힘이다. 충돌이 발생한 경우에는 $F_e$와 $F_c$가 동시에 로봇 머니퓰레이터에 작용하며, $\tau_{ext}$에는 $F_e$로 인하여 각 관절에 인가되는 외부토크 $\tau_e$와 충돌로 인하여 발생한 외부토크 $\tau_c$가 모두 포함되어 있다. 따라서 $\tau_{ext}$를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\tau_{ext} = \tau_c + \tau_e$$

[0094]

[0095] 따라서 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉하는 작업을 수행하는 경우에도 단순히 $\tau_{ext}$를 바탕으로 충돌을 감지할 수 없으며, 본 발명을 통해 고안된 충돌감지기를 사용하여 충돌을 감지한다.

[0096] 즉, 달리 표현하면, 작업 유형 판단 단계에서 판단된 작업 유형이 컨택 운동 모드인 경우, 로봇 머니퓰레이터에 발생하는 충돌로 인한 충격력 Fc로 유발되는 외부 토크(τc)이고, 로봇 머니퓰레이터의 단부에 작용하는 접촉 외력(Fe)에 의한 외부 토크(τe)라 할 때, 외력 토크(τext)는 다음과 같이 표현된다.

[0097] $$\tau_{ext}=\tau_c+\tau_e$$

[0098] 여기서, J는 로봇 머니퓰레이터의 자코비안 행렬이고, $J^T$ 는 자코비안 행렬의 전치행렬이고, Be는 Fe가 존재하는 공간의 기저(basis)로 구성된 행렬이고, $B_e=\begin{bmatrix}1&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0\\0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&1\end{bmatrix}$ 이다. 이 경우 충돌 감지기는 다음과 같이 표현된다.

[0099] $$d_e=(I-J^T(J^{T+}))\tau_{ext}=(I-J^T(J^{T+}))\tau_e+(I-J^T(J^{T+}))\tau_c=(I-J^T(J^{T+}))\tau_c$$

[0100] 상술하자면, 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉하는 작업을 수행하는 경우에 사용하는 충돌감지기 $d_e$의 원리는 앞서 설명한 충돌감지기 $d_p$와 유사하다. 즉, 상기한 $d_p$를 유도하는 과정에서 $F_p$가 존재하는 공간의 기저행렬인 $B_p$를 $F_e$가 존재하는 공간의 기저행렬인 $B_e$로 치환함으로써 산출할 수 있다. 하지만 $F_p$와 달리 $F_e$는 특정 힘들의 합력이 아니라, 말단에서 인가되는 모든 힘이 될 수 있으므로 $B_e$는 아래와 같이 정의된다.

[0101] $$B_e=\begin{bmatrix}1&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0\\0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&1\end{bmatrix}$$

[0102] 위와 같이 정의된 $B_e$를 바탕으로 유도된 $d_e$는 아래와 같다.

[0103] $$d_e=(I-J^T(J^{T+}))\tau_{ext}=(I-J^T(J^{T+}))\tau_e+(I-J^T(J^{T+}))\tau_c=(I-J^T(J^{T+}))\tau_c$$

[0104] 위 수식에서 확인할 수 있듯이, $d_e$는 $\tau_c$의 함수이며, $\tau_e$와는 무관하다. 따라서 고안된 본 발명의 충돌감지기 $d_e$를 이용하여 로봇 머니퓰레이터가 외부환경과 접촉하는 작업을 수행하는 경우에서 충돌을 감지할 수 있다.

[0105] 또한, 로봇 머니퓰레이터가 접촉하고 있는 외부환경에 대한 정보를 전혀 사용하지 않으므로, 다양한 외부환경과 접촉하는 상황에서도 적용 가능하며, 충격력의 주파수와 무관하게 모든 충돌을 감지할 수 있다.

[0106] 도 3 및 도 4의 본 발명의 로봇 머니퓰레이터의 제어 과정에 보다 구체적인 흐름이 도시된 도 5, 도 6 및 도 7은 본 발명의 충돌 감지기를 이용하여 로봇 머니퓰레이터를 제어하는 알고리즘을 나타낸 것이다. 본 발명의 로봇 머니퓰레이터는 도 5에 도시된 바와 같이 상기한 방법을 이용하여 충돌감지기 $\tau_{ext}$를 측정 또는 추정하고, $\tau_{ext}$를 이용하여 또 다른 충돌감지기 $d_p$와 $d_e$를 산출한다. 그리고 로봇 머니퓰레이터가 수행하고 있는 작업 정보를 상위제어기로부터 수신 받아 로봇 머니퓰레이터가 수행하고 있는 작업이 도 9에 도시된 분류된 작업 유형의 세 가지 분류 중에 어느 경우에 속하는지를 판단한다.

[0107] 즉, 도 5에서의 충돌 감지기 산출 단계(S30)가 실행된 후, 제어부(20)는 도 6에 도시된 바와 같은 충돌 판단 단계(S40)를 실행한다.

[0108] 충돌 판단 단계(S40)에서는 제어부(20)가 충돌 감지기(25)와 저장부(30)의 사전 설정 데이터에 포함되는 충돌 판단 기준값을 비교하여 로봇 머니퓰레이터의 충돌 여부를 확인하고 작업 유형을 수행하는 작업 수행 모드와 충돌 상황에 대응하는 충돌 모드 중 실행되어야 할 실행 모드를 설정한다. 충돌 판단 단계(S40)는 판단 작업 유형 확인 단계(S41)와, 판단 작업 유형 판단 단계(S43,S45,S47)와, 충돌 여부 판단 단계(S44,S46,S48)를 포함한다.

[0109] 판단 작업 유형 확인 단계(S41)에서 제어부(20)는 로봇 머니퓰레이터의 작업 유형을 확인하고, 그런 후 판단 작업 유형 판단 단계(S43,S45,S47)에서 판단 유형 확인 단계(S31)에서 확인된 작업 유형을 판단한다.

[0110] 작업 유형이 판단된 후, 제어부(20)는 충돌 여부 판단 단계(S44,S46,S48)를 실행하는데, 판단 작업 유형 판단 단계에서 확인된 작업 유형에 따라, 판단 작업 유형 판단 단계에서의 판단 결과에 대응하는 해당 충돌 감지기를 통하여 충돌 여부를 확인한다.

[0111] 그리고, 본 발명의 로봇 머니퓰레이터 제어 방법은 충돌 여부 판단 단계에서의 판단 결과에 따라 제어부(20)가 실행 인가할 모드를 설정하는 모드 설정 단계를 더 포함한다.

[0112] 모드 설정 단계(50)에서 제어부(20)는 먼저 실행 모드 확인 단계(S51)를 실행한다. 앞선 단계에서 설정된 실행 모드가 어떠한 것인지의 플랙을 확인한다.

[0113] 그런 후, 단계 S52에서 작업 유형 수행 모드 여부를 확인한다. 즉, 충돌 여부 판단 단계에서 상기 충돌 감지기의 값이 영인 경우, 단계 S52에서 제어부는 모드 설정 단계에서 실행되어야 할 모드는 작업 유형의 실행을 중단하고 충돌 상태에 대응하는 충돌 모드로 설정하여 단계 S58과 S59를 실행한다.

[0114] 작업 유형 수행 모드가 아닌 경우, 제어부(20)는 제어 흐름을 충돌 감지 단계(S58)를 실행하고 충돌 감지 단계(S58)의 결과에 따라 작업 중단 경로 재설정을 실행하는 작업 중단 경로 재설정 단계(S59)를 실행하여 충돌 발생시 안전 사고 발생을 방지 내지 최소화하도록 작업을 중단시키고 로봇 머니퓰레이터의 가동하는 경로를 재설정한다.

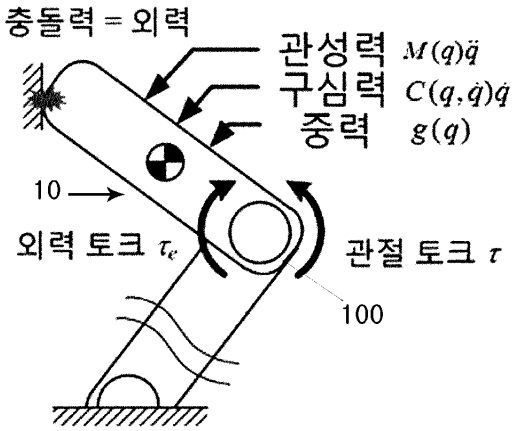
[0115] 반면, 단계 S52에서 작업 유형 수행 모드 여부 확인시, 즉 충돌 여부 판단 단계에서 상기 충돌 감지기의 값이 영이 아닌 경우, 제어부는 모드 설정 단계에서 실행되어야 할 모드는 작업 유형을 실행하는 작업 모드로 설정하는데, 제어부(20)가 단계 S52에서 작업 유형 수행 모드라고 판단한 경우, 제어부(20)는 제어 흐름을 단계 S53 이하의 단계로 진행하여 작업 유형이 앞서 기술된 첫번째 유형(I 유형)인지(S53), 두번째 유형인지(II 유형)(S55),의 판단 단계를 거쳐, 각 결과에 따라 첫번째 유형(I 유형)(S54), 두번째 유형(II 유형)(S56), 세번째 유형(III유형)(S57)의 작업 모드를 설정한다.

[0116] 본 발명의 일실시예에 따른 로봇 머니퓰레이터가 작업 모드 수행 단계를 실행하는 경우, 수행하는 작업에 따라 각기 다른 충돌감지기를 사용하여 어떠한 유형의 작업시 충돌이 발생하였는지를 판단한다. 로봇 머니퓰레이터에 충돌이 발생한 경우에는 로봇 머니퓰레이터의 작업을 일시적으로 중단하고 작업 경로를 재설정한다. 도 11은 물체를 파지하여 이송하고, 조립하는 작업을 수행하는 로봇 머니퓰레이터에 도 3 내지 도 7에 도시된 본 발명의 로봇 머니퓰레이터의 제어 과정을 적용한 실시예의 유형을 도시한 것이다.

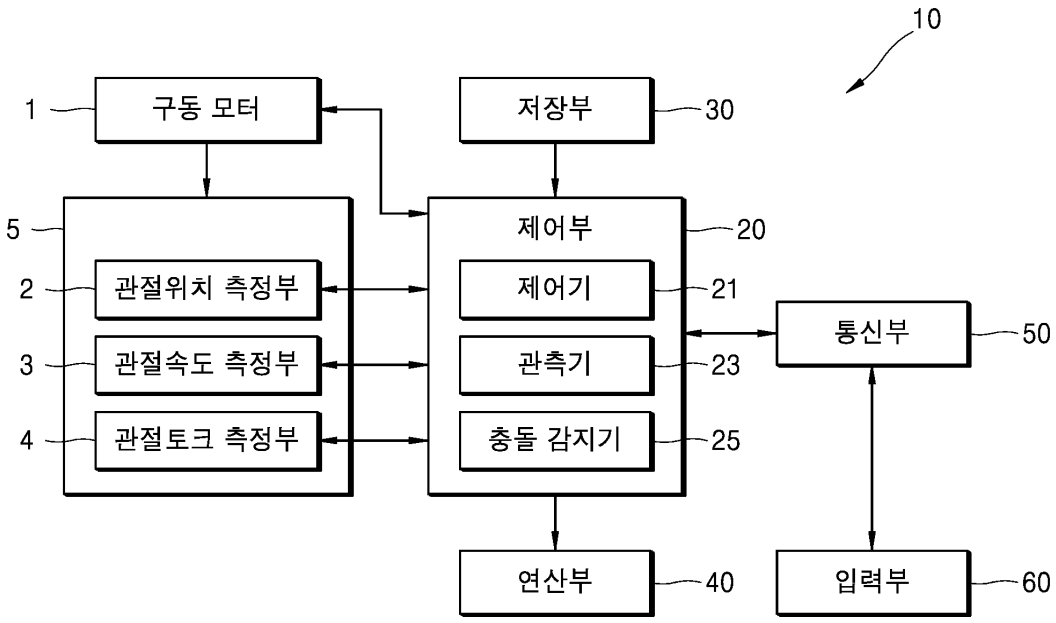
[0117] 도 11에 도시된 바와 같이 고안된 충돌감지기들과 로봇 머니퓰레이터 제어 알고리즘을 이용할 경우에 물체를 파지하여 이송하거나 외부환경과 접촉하는 작업이 포함된 로봇 머니퓰레이터의 전 작업과정에 걸쳐서 충돌을 감지할 수 있다.

도면

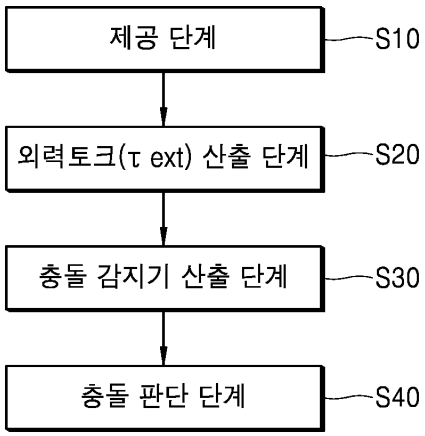
도면1


충돌력 = 외력
관성력 $M(q)\ddot{q}$
구심력 $C(q,\dot{q})\dot{q}$
중력 $g(q)$
10
외력 토크 $\tau_e$
관절 토크 $\tau$
100

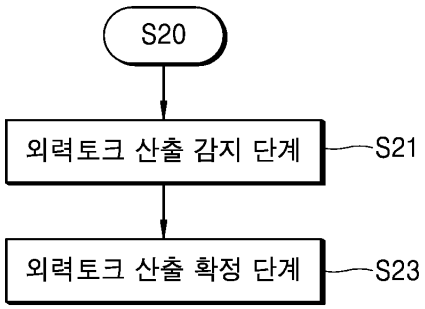
도면2


10
1
구동 모터
저장부
30
5
제어부
20
2
관절위치 측정부
제어기
21
통신부
50
3
관절속도 측정부
관측기
23
4
관절토크 측정부
충돌 감지기
25
연산부
40
입력부
60

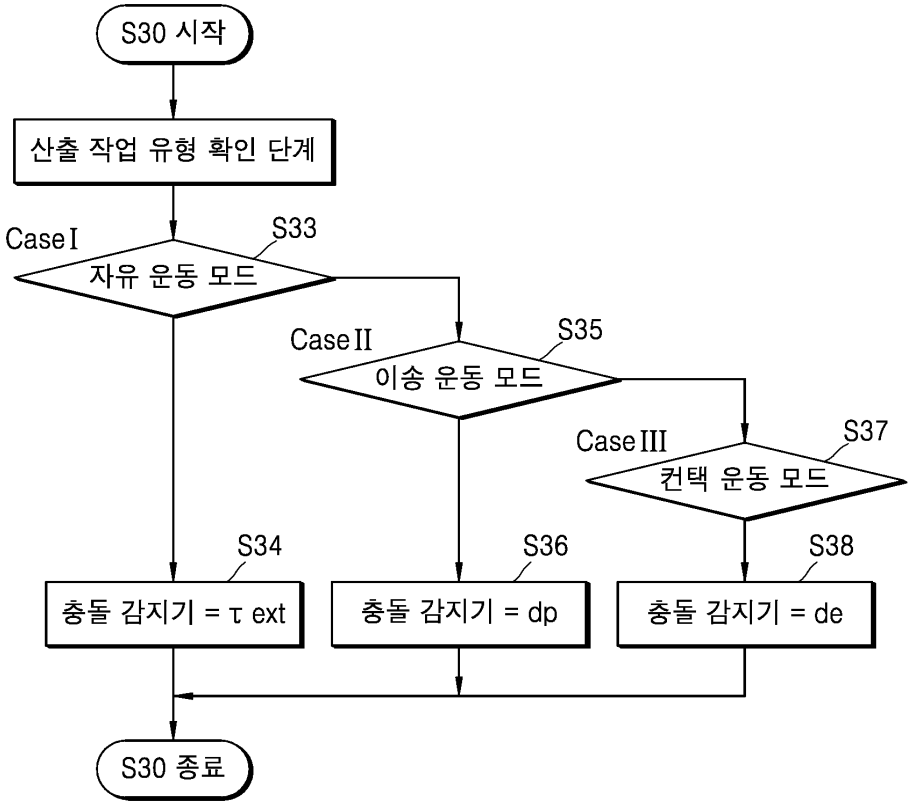
도면3


제공 단계
S10
외력토크(τ ext) 산출 단계
S20
충돌 감지기 산출 단계
S30
충돌 판단 단계
S40

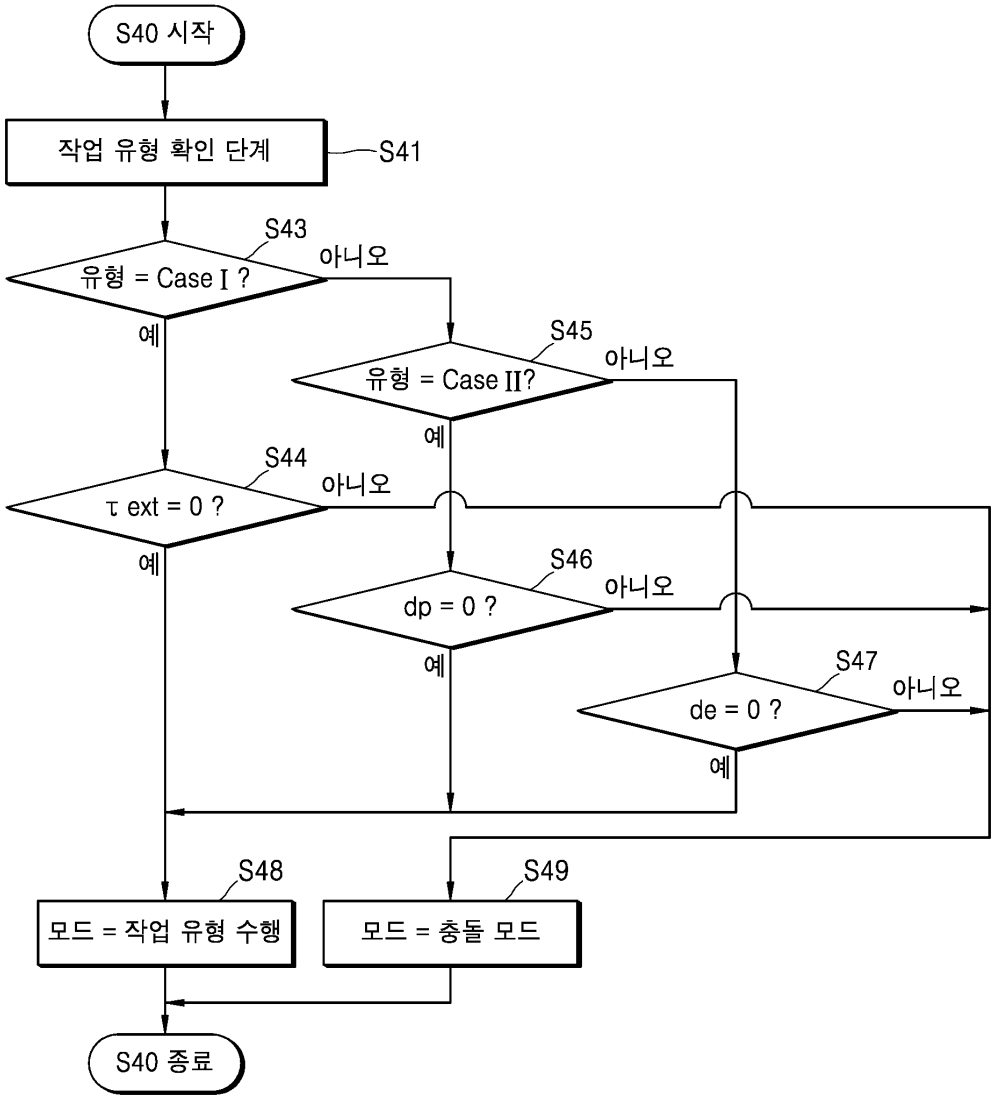
도면4


S20
외력토크 산출 감지 단계
S21
외력토크 산출 확정 단계
S23

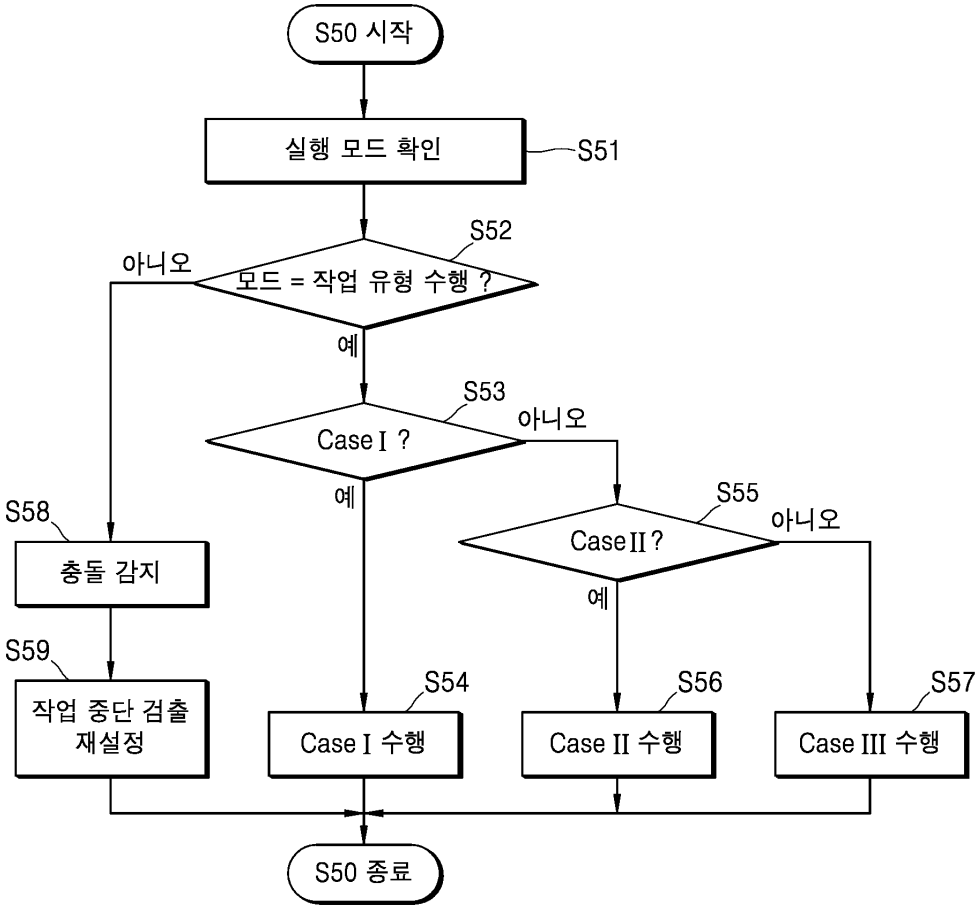
도면5


S30 시작
산출 작업 유형 확인 단계
Case I
S33
자유 운동 모드
Case II
S35
이송 운동 모드
Case III
S37
컨택 운동 모드
S34
충돌 감지기 = τ ext
S36
충돌 감지기 = dp
S38
충돌 감지기 = de
S30 종료

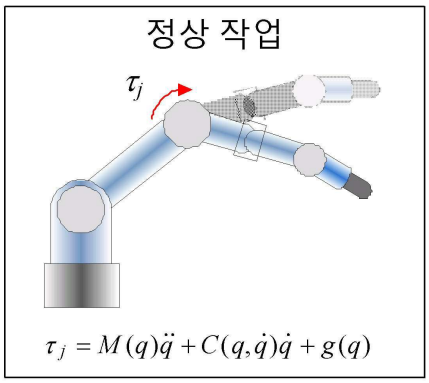
도면6

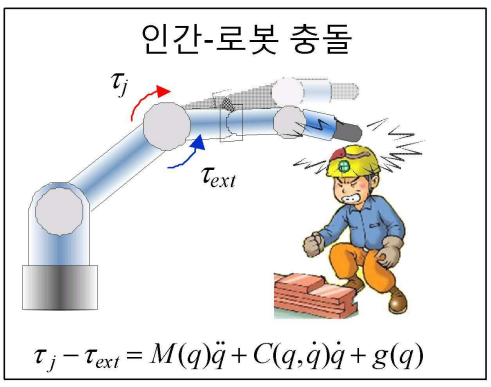

S40 시작
작업 유형 확인 단계
S41
S43
유형 = Case Ⅰ ?
아니오
예
S45
유형 = Case Ⅱ?
아니오
예
S44
τ ext = 0 ?
아니오
예
S46
dp = 0 ?
아니오
예
S47
de = 0 ?
아니오
예
S48
모드 = 작업 유형 수행
S49
모드 = 충돌 모드
S40 종료

도면7

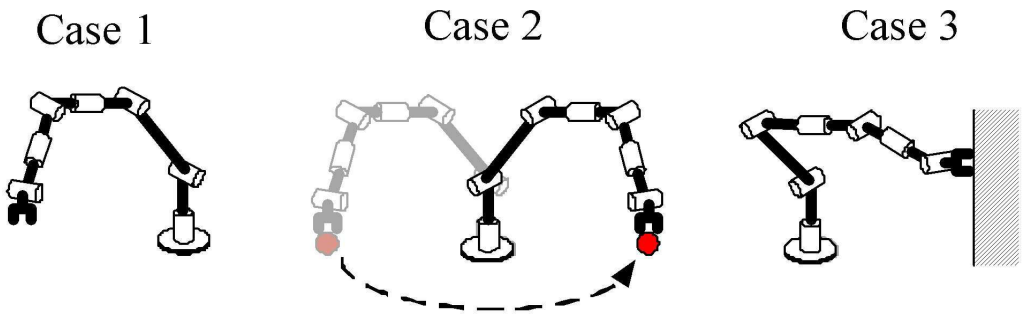

S50 시작
실행 모드 확인
S51
S52
아니오
모드 = 작업 유형 수행 ?
예
S53
Case Ⅰ ?
아니오
예
S55
Case Ⅱ ?
아니오
예
S58
충돌 감지
S59
작업 중단 검출
재설정
S54
Case Ⅰ 수행
S56
Case Ⅱ 수행
S57
Case Ⅲ 수행
S50 종료

도면8

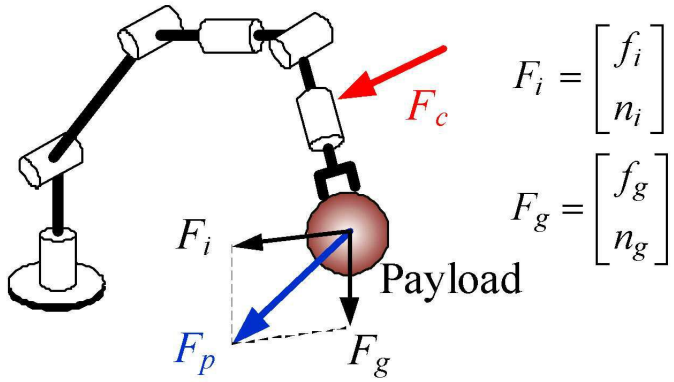

정상 작업
$\tau_j$
$\tau_j = M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + g(q)$


인간-로봇 충돌
$\tau_j$
$\tau_{ext}$
$\tau_j - \tau_{ext} = M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + g(q)$

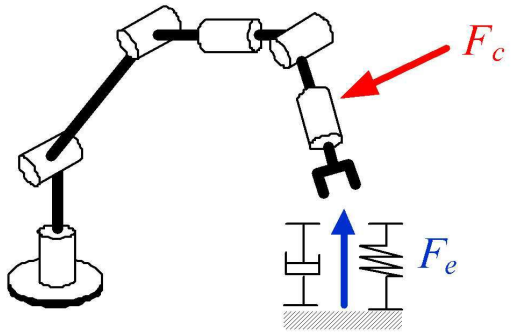
도면9




도면10




도면11



도면12

