



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0051292
(43) 공개일자 2021년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/16 (2006.01) B25J 9/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B25J 9/1674 (2013.01)
B25J 9/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0136355
(22) 출원일자 2019년10월30일
심사청구일자 2019년10월30일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
임성수
서울특별시 강남구 압구정로 201 현대아파트 80동 903호
윤대준
경상남도 창원시 성산구 안민로 161 한솔마을대동 아파트 106동 1101호
(74) 대리인
특허법인지원

전체 청구항 수 : 총 18 항

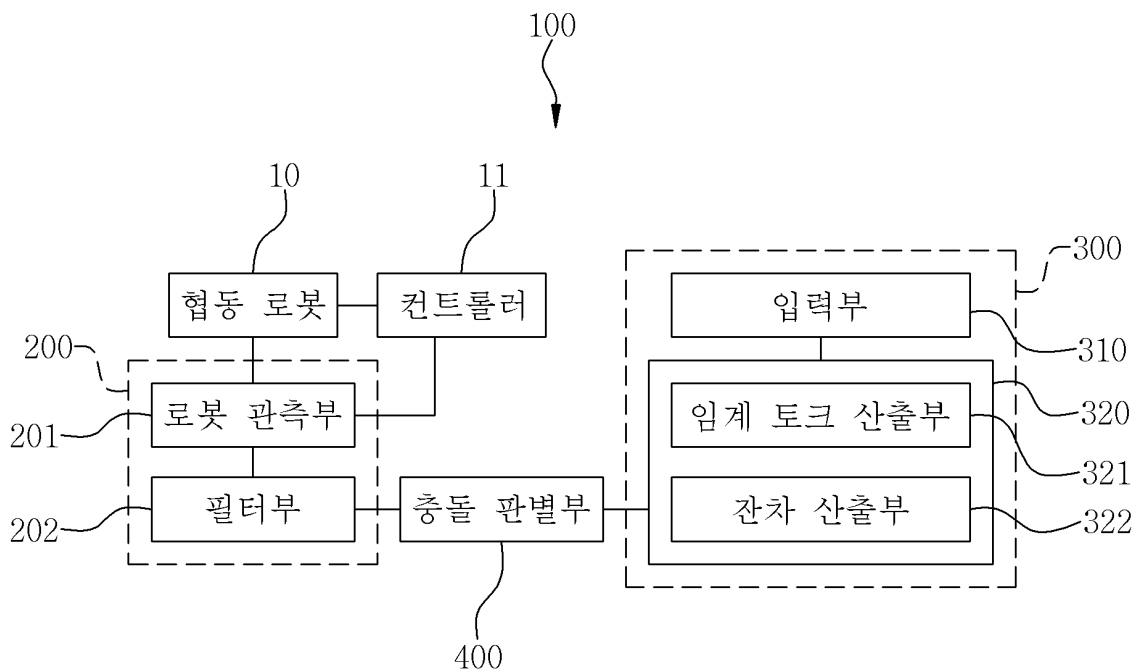
(54) 발명의 명칭 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템 및 이를 이용한 센서리스 충돌 판별 방법

(57) 요약

로봇의 자세와 상황에 따라 민감도를 조절하여, 상기 충돌 판별 임계값 선정 모듈에서 임계값을 적절한 값으로 계산해주고, 상기 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템을 이용하여 연산된 잔차값과 상기 임계값을 이용하여 충돌을 판별하는 센서리스 충돌 감지 시스템에 대한 것이다.

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1a



상기 가변형 민감도 선정 모듈, 이를 이용한 충돌 판별 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템은 입력정보를 입력하는 입력부를 구비하고, 상기 입력부에서 입력된 상기 충격력 F_a , 입력값 a 를 이용하여 상기 민감도 S 를 산출하고, 상기 민감도 S 와 상기 입력부에서 입력된 상기 충돌이 발생할 때 충격력이 최대값에 도달하는데 걸리는 시간 t 를 이용하여 상기 임계값 $r_{Threshold}$ 를 산출하여 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하는 판별 기준으로 선정하는 임계값 산출 유닛을 구비한다.

본 발명에 따른 로봇용 가변형 민감도 선정 모듈, 이를 이용한 충돌 판별 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템 및 이를 이용한 센서리스 충돌 감지 시스템은 임계값을 산출할 때 자코비안의 역행렬 연산이 요구되지 않기 때문에 계산부하가 낮아 보다 신속한 충돌 판별이 가능하고 가변형 민감도로 로봇의 자세에 맞는 임계값을 설정 할 수 있다는 장점이 있다.

(52) CPC특허분류

B25J 9/1602 (2013.01)

B25J 9/1633 (2013.01)

B25J 9/1679 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

로봇의 충돌 발생 여부를 판별할 수 있도록 작업자가 감지하고자 하는 상기 협동로봇의 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 입력하는 입력부; 및

상기 입력부에서 입력된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로, 상기 로봇의 작동을 위해 컨트롤러에서 상기 로봇으로 입력된 입력정보와, 상기 로봇의 관측된 작동 상태에 대한 관측정보의 차이에 대한 임계값을 산출하고, 산출된 임계값을 상기 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하는 임계점으로 선정하는 임계점 산출유닛;을 구비하는,

로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 임계점 산출유닛은

상기 입력모듈에서 입력된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가될 경우, 상기 협동로봇에 발생하는 임계 토크 값을 산출하는 임계 토크 산출부; 및

상기 임계 토크 산출부에서 산출된 임계 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출하는 임계값 산출부;를 구비하는,

로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 가변형 민감도에 대한 입력정보는 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가될 경우, 상기 로봇에 작용하는 충격력 벡터와, 상기 협동로봇의 자세 벡터 사이의 허용 가능 각도이고,

상기 임계 토크 산출부는 입력된 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 로봇의 가변형 민감도 값을 산출하며, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 상기 임계 토크 값을 산출하고,

(수학적식)

$$S=|n|\cos(\alpha)$$

여기서, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, n은 로봇의 자세 벡터로서, 상기 로봇이 구동할 때 자세가 변화하면서 실시간으로 변화하는 값이고, α 는 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보인,

로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 임계 토크 산출부는 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 하기의 수

학식을 통해 상기 임계 토크 값을 산출하고,

(수학식)

$$\tau_{threshold} = |F_k| S$$

여기서, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, F_k 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, S 는 상기 로봇의 가변형 민감도 값인,

로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 임계값 산출부는 상기 임계 토크 산출부에서 산출된 상기 충격 토크 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 잔차 값을 산출하고,

(수학식)

$$r_{Threshold} = \|1 - e^{-tK}\| \|F_k\| S$$

여기서, $r_{threshold}$ 은 상기 임계 잔차 값이고, F_k 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, S 는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, e 는 자연수이고, t 는 상기 임계 충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간이고, K 는 상기 협동로봇의 작동상태를 관측하여 상기 협동로봇에 작용하는 충격토크를 산출하기 위한 운동량 관측기의 이득인,

로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 임계값 산출부는 상기 임계충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간을 0.003초로 설정하여 상기 임계 잔차 값을 산출하는,

로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈.

청구항 7

로봇의 작동을 위해 컨트롤러에서 상기 로봇으로 입력된 입력정보와, 상기 로봇의 측정된 작동 상태에 대한 관측정보의 차이에 대한 잔차 값을 산출하는 운동량 관측기;

작업자가 입력한 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하기 위한 임계값을 산출하는 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈; 및

상기 운동량 관측기에서 제공되는 잔차 값을 상기 임계값 계산부에서 산출된 임계 잔차 값과 비교하여 상기 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하는 충돌 판별부;를 구비하는,

운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈은

작업자에 의해 입력된 상기 임계 충격력 및 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 임계 충격력이 상기 협동로봇에 인가될 경우, 상기 로봇에 발생하는 임계 토크 값을 산출하는 임계 토크 산출부; 및

상기 임계 토크 산출부에서 산출된 임계 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출하는 임계값 산출부;를 구비하는,

운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 가변형 민감도에 대한 입력정보는 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가될 경우, 상기 로봇에 작용하는 충격력 벡터와, 상기 로봇의 자세 벡터 사이의 허용 가능 각도이고,

상기 임계 토크 산출부는 입력된 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 로봇의 가변형 민감도 값을 산출하며, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 상기 임계 충격 토크 값을 산출하고,

(수학적식)

$$S = |n| \cos(\alpha)$$

여기서, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, n은 로봇의 자세 벡터로서, 상기 로봇이 구동할 때 자세가 변화하면서 실시간으로 변화하는 값이고, α 는 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보인,

운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 임계 토크 산출부는 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 토크 값을 산출하고,

(수학적식)

$$\tau_{threshold} = F_K |S|$$

여기서, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, F_K 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값인,

운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 임계값 산출부는 상기 임계 토크 산출부에서 산출된 상기 임계 토크 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 잔차 값을 산출하고,

(수학식)

$$r_{Threshold} = \|1 - e^{-tK}\| \|F_k\| S$$

여기서, $r_{threshold}$ 은 상기 임계 잔차 값이고, F_k 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, S 는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, e 는 자연수이고, t 는 상기 임계 충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간이고, K 는 상기 협동로봇의 작동상태를 관측하여 상기 협동로봇에 작용하는 충격토크를 산출하기 위한 운동량 관측기의 이득인,

운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 임계값 산출부는 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간을 0.003초로 설정하여 상기 임계값을 산출하는,

운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템.

청구항 13

입력부를 통해 입력된 로봇의 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 수신하는 입력정보 수신단계;

상기 입력정보 수신단계를 통해 수신된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로, 상기 로봇의 작동을 위해 컨트롤러에서 상기 로봇으로 입력된 입력정보와, 상기 로봇의 측정된 작동 상태에 대한 관측 정보의 차이에 대한 임계값을 산출하는 임계값 산출단계; 및

상기 임계값 산출단계에서 산출된 상기 임계값을 상기 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하는 판별기준으로 선정하는 기준 선정 단계;를 포함하는,

센서리스 충돌 판별 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 임계값 산출단계는

상기 입력정보 수신단계에서 수신된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가시 발생하는 임계 토크 값을 산출하는 임계 토크 산출단계; 및

상기 임계 토크 산출단계에서 산출된 임계 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출하는 임계값 산출단계;를 포함하는,

센서리스 충돌 판별 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 가변형 민감도에 대한 입력정보는 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가될 경우, 상기 로봇에 작용하는 충격력 벡터와, 상기 로봇의 자세 벡터 사이의 허용 가능 각도이고,

상기 임계 토크 산출단계에서는, 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 로봇의 가변형 민감도 값을 산출하며, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 상기 임계 토크 값을 산출하고,

(수학식)

$$S=|n|\cos(\alpha)$$

여기서, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, n은 로봇의 자세 벡터로서, 상기 로봇이 구동할 때 자세가 변화하면서 실시간으로 변화하는 값이고, α는 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보인,

센서리스 충돌 판별 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 임계 토크 산출단계에선, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 토크 값을 산출하고,

(수학식)

$$\tau_{threshold}=|F_K|S$$

여기서, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, F_K 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값인,

센서리스 충돌 판별 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 임계값 산출단계에서는, 상기 임계 토크 산출단계에서 산출된 상기 임계 토크 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 잔차 값을 산출하고,

(수학식)

$$r_{Threshold} = \left\| 1 - e^{-tK} \right\| \|F_K\| S$$

여기서, $r_{threshold}$ 은 상기 임계 잔차 값이고, F_K 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, e는 자연수이고, t는 상기 임계 충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간이고, K는 상기 협동로봇의 작동상태를 관측하여 상기 협동로봇에 작용하는 충격토크를 산출하기 위한 운동량 관측기의 이득인,

센서리스 충돌 판별 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 임계값 산출단계에서는, 상기 임계충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간을 0.003초로 설정하여 상기 임계값을 산출하는,

센서리스 충돌 판별 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템 및 이를 이용한 센서리스 충돌 판별 방법에 관한 것으로서, 상황에 따라 충돌을 허용할 수 있는 최대 충격력을 기준으로 하는 M_k (이하 충격력), 로봇의 자세에 따라 변화하는 자세 벡터 n 및 임의의 입력 값 α 를 이용하여 민감도를 계산할 수 있고, 상기 가변형 민감도를 이용하여 충돌 판별 기준 임계값을 계산할 수 있고, 모듈 운동량 관측기를 이용하여 명령된 각, 각속도 및 토크를 입력받아 계산된 예측치와 로봇이 구동하면서 관측된 각, 각속도를 이용하여 계산된 관측치의 차를 잔차값으로 선정할 수 있는 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템 및 이를 이용한 센서리스 충돌 판별 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 기존의 산업용 로봇은 안전펜스를 사용하여 작업자와 로봇의 공간을 분리하여 공간의 제약과 효율성이 떨어지는 단점이 있지만, 협동로봇(Collaborative Robot)은 기존의 산업용 로봇과는 달리 안전펜스 없이 로봇이 작업자와 함께 작업을 진행할 수 있는 장점이 있다. 하지만 협동로봇은 작업자와 로봇이 공간을 공유하는 특성상 충돌 안전 기술 확보가 중요하다. 협동로봇의 충돌 안전 기술은 작업자와 로봇의 충돌상황을 3단계로 분류하고 있다.
- [0003] 첫 번째 단계는 충돌 전(Pre-Collision Phase)으로, 작업자와 로봇이 충돌하기 전의 상황을 다루고 있다. 주로 작업자의 안전 예방, 안전 속도 제어 기술 등의 연구가 이루어지고 있다.
- [0004] 두 번째 단계는 충돌 중(Collision Phase)로, 작업자와 로봇이 충돌이 진행되는 상황을 다루고 있다. 이 단계에서는 로봇의 충돌 감지 기술이 연구되고 있으며, 충돌 감지 기술의 신속성, 민감도 등이 평가항목이 된다.
- [0005] 마지막 단계는 충돌 후(Post-Collision Phase)로 작업자와 로봇의 충돌이 감지된 후의 상황을 다루고 있다. 주로 로봇의 안전한 대응 방법론이 연구되고 있다.
- [0006] 충돌 중(Collision Phase)상황에서의 충돌 감지 기술에 대해서, 충돌 감지 기술은 크게 2가지로 분류할 수 있다.
- [0007] 첫 번째는 충돌 물리력 측정을 위한 센서를 이용하여 충돌을 감지하는 방법이다. 이 방식은 충돌 감지 성능은 뛰어나지만 추가 센서 부たく으로 인해, 로봇 제작 단가가 비싸진다는 단점이 있다.
- [0008] 두 번째는 Sensorless 충돌 감지 기술이다. 이 기술은 비교적 감지 성능은 떨어지지만 로봇 제작 단가가 저렴하다는 장점이 있다.
- [0009] 그러나, 종래의 Sensorless 충돌 감지 기술의 경우, 감지하기 원하는 충격력을 정하고, 운동량운동량 관측기로부터 획득한 운동량 잔차 값을 이용하여 충격력을 산출, 하는데, 잔차 값을 토대로 충격력을 산출하는 과정에서, 자코비안의 역행렬 연산이 요구되어 충격력 계산의 부하가 비교적 높아 로봇의 충돌에 대한 신속한 판단에 어려움이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제10-2017-0141621호: 구동 제어 신호를 이용한 로봇 충돌 감지 장치

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 개선하기 위해 창안된 것으로서, 로봇과 인간 또는 로봇과 주변환경이 충돌 시 로봇의 구동을 정지 하여 사용자의 안전을 확보하고 로봇의 파손을 방지할 수 있는 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템 및 이를 이용한 센서리스 충돌 판

별 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 로봇용 가변형 충돌관별 민감도 및 임계값 선정 모듈은 로봇의 충돌 발생 여부를 판별할 수 있도록 작업자가 상기 협동로봇의 임계 충격력 F_k 및 가변형 민감도 범위 α 에 대한 입력정보를 입력하는 입력부와, 상기 입력부에서 입력된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도 범위에 대한 입력정보를 토대로, 상기 로봇의 작동을 위해 컨트롤러에서 상기 로봇으로 입력된 입력정보와, 상기 로봇의 측정된 작동 상태에 대한 관측정보를 이용하여 임계값을 산출하고, 산출된 임계 값을 상기 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하는 판별기준으로 선정하는 임계점 산출유닛을 구비한다.
- [0013] 상기 임계점 산출유닛은 상기 입력모듈에서 입력된 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보 α 를 토대로 가변형 민감도 값 S 을 산출하고, 산출된 가변형 민감도 값 S 과 입력된 충격력 F_k 를 이용하여 상기 협동로봇에 발생하는 임계 토크 값을 산출하는 임계 토크 산출부와, 상기 임계 토크 산출부에서 산출된 임계 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출하는 임계값 산출부를 구비한다.
- [0014] 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보 α 는 충격력이 상기 로봇에 인가될 경우, 상기 로봇에 작용하는 충격력 벡터와, 상기 협동로봇의 자세 벡터 사이의 감지 각도이고, 상기 임계 토크 산출부는 입력된 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 로봇의 가변형 민감도 값을 산출하며, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 상기 충격 토크 값을 산출하고,
- [0015] (수학적식)
- [0016] $S=|n|\cos(\alpha)$
- [0017] 여기서, S 는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, n 은 로봇의 자세 벡터로 로봇이 구동할 때 자세가 변화하면서 실시간으로 변화하는 값이고, α 는 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보가 적용된다.
- [0018] 상기 임계 토크 산출부는 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 토크 값을 산출하고,
- [0019] (수학적식)
- [0020] $\tau_{threshold}=|F_k|S$
- [0021] 여기서, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, F_k 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, S 는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이다.
- [0022] 상기 임계값 산출부는 상기 임계 토크 산출부에서 산출된 상기 임계 토크 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 잔차 값을 산출하고,
- [0023] (수학적식)
- [0024] $r_{Threshold}=\|1-e^{-tK}\|F_k|S$
- [0025] 여기서, $r_{threshold}$ 은 상기 임계 잔차 값이고, F_k 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, $\tau_{threshold}$ 은 상기 충격 토크 값이고, S 는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, e 는 자연수이고, t 는 상기 임계 충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간이고, K 는 상기 협동로봇의 작동상태를 관측하여 상기 협동로봇에 작용하는 충격토크를 산출하기 위한 운동량 관측기의 이득이 바람직하다.
- [0026] 상기 임계값 산출부는 상기 임계충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간을 0.003초로 설정하여 상기 임계 잔차 값을 산출할 수도 있으나, 이에 한정하는 것이 아니라 협동로봇의 기능 또는 크기에 따라 작업자가 임의의 값을 설정할 수도 있다.
- [0027] 한편, 본 발명에 따른 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템은 로봇의 작동을 위해 컨트롤러에서 상

기 로봇의 측정된 작동 상태에 대한 관측정보와 로봇의 관측 정보를 이용하여 계산한 값의 차이에 대한 잔차 값을 산출하는 관측기와, 작업자가 입력한 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하기 위한 임계 잔차 값을 산출하는 충돌 기준 선정모듈과, 상기 관측기에서 제공되는 잔차 값을 상기 임계값 계산부에서 산출된 임계 잔차 값과 비교하여 상기 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하는 충돌 판별부를 구비한다.

[0028] 상기 충돌 기준 선정모듈은 작업자에 의해 입력된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 로봇에 발생하는 충격 토크 값을 산출하는 임계 토크 산출부와, 상기 임계 토크 산출부에서 산출된 충격 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출하는 임계값 산출부를 구비한다.

[0029] 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보는 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가될 경우, 상기 로봇에 작용하는 충격력 벡터와, 상기 로봇의 자세 벡터 사이의 감지 가능 각도이고, 상기 임계 토크 산출부는 입력된 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 로봇의 가변형 민감도 값을 산출하며, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 상기 충격 토크 값을 산출하고,

[0030] (수학적식)

$$S=|n|\cos(\alpha)$$

[0032] 여기서, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, n은 로봇의 자세 벡터로, 로봇이 구동할 때, 자세가 변화하면서 실시간으로 변화하는 값이고, α 는 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보인 것이 바람직하다.

[0033] 상기 임계 토크 산출부는 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 토크 값을 산출하고,

[0034] (수학적식)

$$\tau_{threshold}=|F_K|S$$

[0036] 여기서, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, F_K 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이 적용된다.

[0037] 상기 임계값 산출부는 상기 임계 토크 산출부에서 산출된 상기 충격 토크 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 잔차 값을 산출하고,

[0038] (수학적식)

$$r_{Threshold}=\left\|1-e^{-tK}\right\|\left|F_K\right|S$$

[0039]

[0040] 여기서, $r_{threshold}$ 은 상기 임계 잔차 값이고, F_K 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, e는 자연수이고, t는 상기 임계 충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간이고, K는 상기 협동로봇의 작동상태를 관측하여 상기 협동로봇에 작용하는 충격토크를 산출하기 위한 운동량 관측기의 이득인 것이 바람직하다.

[0041] 상기 임계값 산출부는 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간을 0.003초로 설정하여 상기 임계 잔차 값을 산출할 수 있으나, 이에 한정하는 것이 아니라 협동로봇의 기능 또는 크기에 따라 작업자가 임의의 값을 설정할 수도 있다.

[0042] 한편, 본 발명에 따른 센서리스 충돌 판별 방법은 입력부를 통해 입력된 로봇의 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 수신하는 입력정보 수신단계와, 상기 입력정보 수신단계를 통해 수신된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로, 상기 로봇의 작동을 위해 컨트롤러에서 상기 로봇으로 입력된 입력정보와, 상기 로봇의 측정된 작동 상태에 대한 관측정보를 이용해 임계 잔차 값을 산출하는 임계값 산출단계와, 상기 임계값 산출단계에서 산출된 상기 임계 잔차 값을 상기 로봇의 충돌 발생 여부를 판별하는 판별기준으로 선정하는 기준 선정 단계를 포함한다.

[0043] 상기 임계값 산출단계는 상기 입력정보 수신단계에서 수신된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가시 발생하는 임계 토크 값을 산출하는 임계 토크 산출단계와,

상기 임계 토크 산출단계에서 산출된 임계 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출하는 임계값 산출단계를 포함한다.

[0044] 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보는 상기 임계 충격력이 상기 로봇에 인가될 경우, 상기 로봇에 작용하는 충격력 벡터와, 상기 로봇의 자세 벡터 사이의 감지 가능 각도이고, 상기 임계 토크 산출단계에서는, 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 로봇의 가변형 민감도 값을 산출하며, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 상기 충격 토크 값을 산출하고,

[0045] (수학적식)

$$S=|n|\cos(\alpha)$$

[0047] 여기서, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, n은 로봇의 자세벡터로 로봇이 구동할 때 자세가 변화하면서 실시간으로 변화하는 값이고, α 는 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보이다.

[0048] 상기 임계 토크 산출단계에선, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보 및 상기 가변형 민감도 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 토크 값을 산출하고,

[0049] (수학적식)

$$\tau_{threshold}=|F_K|S$$

[0051] 여기서, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, F_K 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값인 것이 바람직하다.

[0052] 상기 임계값 산출단계에서는, 상기 임계 토크 산출단계에서 산출된 상기 임계 토크 값을 토대로 하기의 수학적식을 통해 상기 임계 잔차 값을 산출하고,

[0053] (수학적식)

$$r_{Threshold}=\left\|1-e^{-tK}\right\|\left|F_K\right|S$$

[0055] 여기서, $r_{threshold}$ 은 상기 임계 잔차 값이고, F_K 는 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, S는 상기 로봇의 가변형 민감도 값이고, e는 자연수이고, t는 상기 임계 충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간이고, K는 상기 협동로봇의 작동상태를 관측하여 상기 협동로봇에 작용하는 충격토크를 산출하기 위한 운동량 관측기의 이득이다.

[0056] 상기 임계값 산출단계에서는, 상기 임계충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간을 0.003초로 설정하여 상기 임계 잔차 값을 산출하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0057] 본 발명에 따른 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템 및 이를 이용한 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템은 임계값 $r_{Threshold}$ 가 로봇의 자세 그리고 충격력 F_K 와 로봇의 자세벡터 $n_{(i-1)}$ 가 이루는 각도 $\alpha_{(i)}$ 에 따라 실시간으로 변화하기 때문에 상황에 맞는 기준을 선정할 수 있고, 기존의 충돌 판단 방식은 자코비안의 역행렬 연산이 요구되어 계산부하가 높아 실시간 계산에는 부합하지 않는 반면, 상기 충돌 판단 방식은 역행렬 연산이 요구되지 않아 계산부하가 낮아 신속한 계산이 가능하다는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0058] 도 1a 및 도 1b는 본 발명에 따른 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템에 대한 블록도이고, 도 2는 로봇의 자세와 충격 방향에 따른 충돌 토크 변화에 대한 예시도이고,

도 3은 충돌이 발생시 로봇에 작용하는 충격 토크에 대한 개념도이고,

도 4는 시뮬레이션을 진행한 로봇의 자세에 대한 예시도이고,

도 5는 도 4의 Pose1의 로봇에 대한 인가된 충격력 방향에 따른 가변형 민감도에 대한 그래프이고,

도 6은 도 4의 Pose2의 로봇에 대한 인가된 충격력 방향에 따른 가변형 민감도에 대한 그래프이고,

도 7은 도 4의 Pose2의 로봇에서의 충격력 방향 별 가변형 민감도에 따른 잔차 값($\|r\|$)을 비교한 그래프이고,

도 8은 후술되는 수학적 식 6에 대한 그래프이고,

도 9는 실제 돼지 피부 충돌 실험을 통해 획득한 시간에 따른 충격력 데이터이고,

도 10은 본 발명에 따른 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템을 이용하여 충돌 실험을 진행한 결과 이고,

도 11은 본 발명에 따른 센서리스 충돌 판별 방법에 대한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0059] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템 및 이를 이용한 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.
- [0060] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0061] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0062] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0063] 도 1a 및 도 1b에는 본 발명에 따른 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템이 도시되어 있다.
- [0064] 도면을 참조하면, 상기 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템은 로봇(10)의 작동을 위해 컨트롤러(11)에서 상기 로봇(10)으로 입력된 입력정보와, 상기 로봇(10)의 측정된 작동 상태에 대한 관측정보의 차이에 대한 잔차 값을 산출하는 운동량 관측기(200)와, 작업자가 입력한 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 판별하기 위한 임계 잔차 값을 산출하는 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈(300)과, 상기 운동량 관측기(200)에서 제공되는 잔차 값을 상기 임계값 계산부에서 산출된 임계 잔차 값과 비교하여 상기 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 판별하는 충돌 판별부(400)를 구비한다.
- [0065] 여기서, 로봇(10)은 조인트를 통해 연결된 적어도 2개의 링크부와, 링크부 중 하나에 연결된 엔드 이펙터(End-effector)를 포함한다. 그리고, 충돌 발생 가능 부위는 링크부 및 엔드 이펙터 중 선택된 하나 또는 둘 이상이

다.

[0066] 운동량 관측기(200)는 로봇(10)에 설치되어 상기 로봇(10)의 작동 상태를 관측하여 잔차 값을 산출하는 로봇 관측부(201)와, 상기 로봇 관측부(201)에서 산출된 잔차 값을 토대로 상기 로봇(10)의 충격 토크를 산출하는 필터부(202)를 구비한다.

[0067] 로봇 관측부(201)는 로봇(10)에 설치된 센서로부터 로봇(10)의 관절 즉, 로봇(10)의 링크부들이 연결된 조인트 부분의 각도 또는 각속도 정보를 수신한다. 상기 센서는 로봇(10)에 설치되어 링크부들 사이의 각도 또는 각속도를 측정할 수 있는 센서모듈이 적용된다.

[0068] 한편, 로봇 관측부(201)는 로봇(10)의 컨트롤러(11)에 연결되어 상기 로봇(10)의 작동을 위해 컨트롤러(11)에서 상기 로봇(10)으로 입력된 입력정보를 수신한다. 로봇 관측부(201)는 입력정보에 토대로 로봇(10)의 작동 자세 즉, 로봇(10)의 조인트 부분 및 링크부의 위치, 자세에 대한 정보를 산출한다. 이때, 로봇 관측부(201)는 산출된 로봇(10)의 조인트 부분 및 링크부의 위치, 자세에 대한 정보와, 센서에 의해 측정된 실제 로봇(10)의 조인트 부분 및 링크부의 위치에 대한 정보의 차이인 잔차(residual) 값을 산출한다.

[0069] 한편, 운동량 관측기의 수학적 유도는 하기의 로봇 동역학 방정식에서 산출 가능하다.

[0070]
$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau} + \boldsymbol{\tau}_i$$

[0071] 위 식에서 $\mathbf{M}(\mathbf{q})$ 는 로봇의 관성 행렬, $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ 은 로봇의 코리올리(Coriolis) 행렬, $\mathbf{g}(\mathbf{q})$ 는 로봇의 중력행렬, $\boldsymbol{\tau}$ 는 로봇의 컨트롤러의 명령토크, $\boldsymbol{\tau}_i$ 는 충돌로 인한 외란 토크, $\mathbf{q}$ 는 로봇 관절의 각도, $\dot{\mathbf{q}}$ 는 로봇 관절의 각속도이다. 앞으로 기술하는 수식의 윗첨자 점은 미분을 의미한다.

[0072] 그리고 로봇의 운동량 P는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0073]
$$\mathbf{P} = \mathbf{M}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}$$

[0074]
$$\dot{\mathbf{P}} = \dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}$$

[0075] 여기에서 널리 알려져 있는 반대칭(Skew-symmetry)행렬의 특징을 이용하여 $\dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q})$ 를 유도하면, 하기의 수식으로 정리된다.

[0076]
$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) - 2\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$$

[0077]
$$\dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) - 2\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = -[\dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) - 2\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})]^T$$

[0078]
$$\dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) = \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{C}^T(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$$

[0079] 여기서, 윗첨자 T는 전치행렬을 의미한다. 위에서 유도한 $\dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q})$ 를 $\dot{\mathbf{P}}$ 에 대입하면, 하기의 수식과 같다.

[0080]
$$\dot{\mathbf{P}} = [\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{C}^T(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})]\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}$$

[0081] 다시 로봇 동역학 방정식을 정리하여 상기 $\dot{\mathbf{P}}$ 식에 $\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}$ 대신 대입하면 다음과 같다.

[0082]
$$\dot{\mathbf{P}} = \boldsymbol{\tau} + \mathbf{C}^T(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} - \mathbf{g}(\mathbf{q}) + \boldsymbol{\tau}_i$$

[0083] 다음으로, 잔차(Residual) 값은 하기의 수식으로 정의한다.

[0084]
$$\mathbf{r} = \mathbf{K}[\mathbf{P} - \hat{\mathbf{P}}]$$

[0085] 여기서, P는 실제로 운동량 관측기에서 관측된 로봇(10)의 관측 운동량이고, $\hat{\mathbf{P}}$ 는 컨트롤러에서 협동로봇으로 입력된 입력정보 즉, 명령 값을 이용하여 계산된 로봇(10)의 운동량 추정치이다. K는 운동량 관측기의 이득 값이다.

[0086] 상기 수식에, 상기 $\dot{\mathbf{P}}$ 을 적분하여 대입하고, P는 상기 운동량 식을 대입하면, 다음과 같다.

$$\mathbf{r}(\mathbf{t}) = \mathbf{K}[\mathbf{M}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}} - \int (\boldsymbol{\tau} + \mathbf{C}^T(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} - \mathbf{g}(\mathbf{q}) + \boldsymbol{\tau}_k)dt - \mathbf{p}(0)]$$

[0088] 이 식에서 외란 토크 $\boldsymbol{\tau}_i$ 에 잔차 값 $\mathbf{r}$ 을 대입하고 미분하면 다음의 수식과 같이 유도할 수 있다.

$$\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{K}[\dot{\mathbf{P}} - \boldsymbol{\tau} - \mathbf{C}^T(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) - \mathbf{r}]$$

[0090] 상기 수식을 다시 상기 $\dot{\mathbf{P}}$ 에 관한 식을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\dot{\mathbf{r}} = -\mathbf{K}\mathbf{r} + \mathbf{K}\boldsymbol{\tau}_k$$

[0092] 이제 이 식을 라플라스 변환하여 전달함수(Transfer function)를 구하면 다음과 같은 1차 Low-Pass filter의 형태로 나타나게 된다.

$$\frac{\mathbf{r}(s)}{\boldsymbol{\tau}_k(s)} = \frac{\mathbf{K}}{s + \mathbf{K}}$$

[0094] 상기 전달함수는 1차 저역 필터의 형태로 나타나게 되며, 만약, 이득 값 K가 충분히 큰 값이라면 외란토크 $\boldsymbol{\tau}_i$ 는 잔차 값 $\mathbf{r}$ 과 같다고 가정할 수 있다.

$$\mathbf{K} \rightarrow \infty, \mathbf{r} \approx \boldsymbol{\tau}_k$$

[0096] 결과적으로 본 발명의 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈은 다음과 같은 식을 이용해 선정한다.

$$\mathbf{r} = \mathbf{K}[\mathbf{M}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}} - \int (\boldsymbol{\tau} + \mathbf{C}^T(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} - \mathbf{g}(\mathbf{q}) + \mathbf{r})dt - \mathbf{P}(0)]$$

[0098] 필터부(202)는 로봇 관측부(201)에서 산출된 잔차 값을 토대로 로봇(10)의 충격 토크를 산출한다. 여기서, 필터부(202)는 first order low pass filter가 적용된다. 한편, 상기 운동량 관측기(200)는 로봇(10)의 운동량 모델을 이용하여 충돌 토크를 추정하는 Momentum Observer가 적용된다. 상기 운동량 관측기(200)는 로봇(10)의 관절의 각도 및 각속도에 대한 정보를 토대로 충돌 토크를 추정한다.

[0099] 충돌토크는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\boldsymbol{\tau}_k = \mathbf{J}_k^T \mathbf{F}_k$$

[0101] 여기에서, $\mathbf{J}_k$ 는 협동로봇의 자코비안 행렬이고, $\mathbf{F}_k$ 는 협동로봇에 작용한 충격력이다. 위 수학식에 따르면 충돌 토크는 협동로봇의 자세와 충격력 방향에 따라 달라지기 때문에 이에 따른 충돌 감지 기법의 가변형 민감도가 존재한다. 만약 임계점을 잘못 설정한다면, 협동로봇의 자세와 충격력 방향에 따라 충돌을 감지할 수 없는 영역(Blind direction)이 존재할 수 있다.

[0102] 도 2에는 로봇의 자세와 충격 방향에 따른 충돌 토크 변화에 대한 예시가 도시되어 있다. 도면을 참조하면, 1번의 경우, 로봇(10)에 인가되는 충격($\mathbf{F}_k$)의 방향과, 로봇(10)의 자세에 따라 해당 로봇(10)에서 산출된 충돌 토크는 0이 되는 반면에, 2번의 경우, 동일한 방향의 충격($\mathbf{F}_k$)이 인가되더라도 충격 토크가 발생된다.

[0103] 따라서, 로봇(10)의 임계 잔차 값을 기준으로 로봇의 충돌 여부를 판별할 경우, 같은 충격력이 발생하여도 충돌을 감지할 수 없는 사각지점(blind direction)이 존재한다. 따라서, 로봇의 자세와 충격력 방향에 따라 가변형 민감도를 정의하여 임계점을 계산하는 것이 중요하다. 즉, 로봇(10)의 충돌 여부를 판별하기 위해서 해당 로봇(10)의 가변형 민감도에 대한 정보를 고려하는 것이 요구된다.

[0104] 도 3을 참조하면, 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈(300)은 충돌토크 $\boldsymbol{\tau}_i$ 를 외력과 충돌되는 방향을 기준으로 표현한 하기의 수학적식1로부터 시작한다. 즉, 충돌이 발생시 로봇(10)에 작용하는 충돌 토크에 대한 수식을 로봇(10)의 자세 및 로봇(10)에 대한 충격력 방향을 고려하여 정리하며 하기의 수학적식 1과 같다.

수학식 1

$$[0105] \quad \tau_{k(i)} = J_{k(i)}^T F_k = [Z_{(i-1)} \times (p_k - p_{(i-1)})] F_k = n_{(i-1)} F_k$$

[0106] 여기서, $\tau_{k(i)}$ 는 로봇(10)의 i 번째 축의 충돌 토크이고, $J_{k(i)}^T$ 는 로봇(10)의 충돌 지점까지의 자코비안의 전치 행렬이고, F_k 는 로봇(10)이 충돌에 따른 충격력 벡터이고, $Z_{(i-1)}$ 는 로봇(10)의 i 번째 축의 방향 벡터이고, p_k 는 기저 좌표계 원점에서 충돌 지점까지의 벡터이고, $p_{(i-1)}$ 는 기저 좌표계 원점에서 i 번째 축의 좌표계 원점까지의 벡터이고, $n_{(i-1)}$ 은 $(i-1)$ 번 축 방향을 가리는 벡터로, 로봇의 자세에 따라 변화하는 벡터이다.

[0107] 자세 벡터 $n_{(i-1)}$ 과 충격력(F_k)가 이루는 각도를 $\alpha_{(i)}$ 라고 정의하고, 상기 수학식 1을 내적을 사용하여 표현하면 하기의 수학식2와 같다.

수학식 2

$$[0108] \quad \tau_{k(i)} = |n_{(i-1)}| F_k \cos(\alpha_{(i)})$$

[0109] 상기 수학식 2를 다른 측면에서 해석하면, 충격력 F_k 는 감지하고자 하는 최소 충격력으로, 그리고, 충돌토크 $\tau_{k(i)}$ 는 이에 대응하는 충돌토크로 이해할 수 있다. 충돌토크 F_k 는 충격력에 하기 수학식3의 계수를 곱하여 결정된다.

수학식 3

$$[0110] \quad S_{(i)} = |n_{(i-1)}| \cos(\alpha_{(i)})$$

[0111] 여기서, $S_{(i)}$ 는 해당 로봇(10)의 i 번째 축의 충돌판별 민감도라고 정의한다. 즉, $S_{(i)}$ 가 큰 경우 작은 충격력 F_k 에도 큰 충돌토크가 발생하고, $S_{(i)}$ 가 작은 경우, 큰 충격력 F_k 에도 작은 충돌 토크가 발생하여 충돌감지가 어려워질 수 있다.

[0112] 상기 $S_{(i)}$ 에 대한 식에서 $\alpha_{(i)}$ 값은 상기 $n_{(i-1)}$ 과 충격력 F_k 가 이루는 각이다. 즉 충격력의 방향과 로봇 자세에 따라 변화하게 된다.

$$[0113] \quad \frac{\tau_{k(i)}}{S_{(i)}} = F_k$$

[0114] 상기 식을 참고하면 충격력 F_k 는 충돌토크 $\tau_{k(i)}$ 와 민감도 $S_{(i)}$ 의 식(수학식 3)으로 나타낼 수 있으며, $n_{(i-1)}$ 값이 로봇의 자세에 따라 실시간으로 변화하기 때문에 로봇의 자세에 맞게 민감도의 값을 변화해 준다. 따라서 로봇의 특성에 의해 충돌토크 $\tau_{k(i)}$ 가 낮게 감지 되어도 $\alpha_{(i)}$ 값을 이용하여 감지하고자 하는 F_k 값을 산출하는 것이 가능하다. 상기 $S_{(i)}$ 에 관한 식은 i 번째 축에 대한 민감도 정보로 모든 축의 민감도 정보를 담은 벡터는 다음과 같다.

$$[0115] \quad S = |n| \cos(\alpha)$$

[0116] 여기서, 가변형 민감도에 대해 UR5모델의 로봇(10)을 이용하여 시뮬레이션을 진행한 결과는 다음과 같다. 먼저,

가변형 민감도별로 로봇(10)에 인가한 충격력은 80N이고, 로봇(10)의 자세는 도 4에 도시된 Pose1, Pose2에 대해 실시하였다.

[0117] 도 5는 도 4의 Pose1의 로봇(10)에 대한 인가된 충격력 방향에 따른 가변형 민감도를 나타내며, 도 6은 도 4의 Pose2의 로봇(10)에 대한 인가된 충격력 방향에 따른 가변형 민감도를 나타낸다. 여기서, x축은 로봇(10)에 대한 인가된 충격력의 경사각이고, y축은 해당 충격력의 방위각이다. 도 5 및 도 6을 참조하면, 로봇(10)의 자세와 충격력의 방향에 따른 가변형 민감도가 달라지는 것을 알 수 있다.

[0118] 한편, 도 7은 도 4의 Pose2의 로봇(10)에서의 충격력 방향 별 가변형 민감도에 따른 잔차 값($\|r\|$)을 비교한 그래프이다. 도면을 참조하면, 로봇(10)의 가변형 민감도가 낮을 수록 잔차 값($\|r\|$)이 낮은 것을 알 수 있다. 따라서, 임계점 선정에 가변형 민감도를 고려해야 blind direction을 줄일 수 있다.

[0119] 따라서, 상기 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈(300)은 작업자가 입력한 임계 충격력 및 해당 협동로봇의 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 판별하기 위한 임계 잔차 값 즉 임계값을 산출한다.

[0120] 상기 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈(300)은 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 판별할 수 있도록 작업자가 상기 협동로봇의 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 입력하는 입력부(310)와, 상기 입력부(310)에서 입력된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로, 상기 로봇(10)의 작동을 위해 컨트롤러(11)에서 상기 로봇(10)으로 입력된 입력정보와, 상기 로봇(10)의 측정된 작동 상태에 대한 관측정보의 차이에 대한 임계 잔차 값을 산출하고, 산출된 임계 잔차 값을 상기 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 판별하는 판별기준으로 선정하는 임계점 산출유닛(320)을 구비한다.

[0121] 입력부(310)는 작업자 해당 정보를 입력하기 위한 것으로서, 키보드와 같이 다수의 정보를 입력할 수 있는 입력수단이 적용된다. 여기서, 작업자에 의해 입력되는 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보는 상기 임계 충격력이 상기 로봇(10)에 인가될 경우, 상기 로봇(10)에 작용하는 충격력 벡터와, 상기 협동로봇의 자세 벡터 사이의 허용 가능 각도가 적용된다. 작업자는 로봇(10)의 크기 및 작업 종류 등 로봇 사양을 고려하여 해당 가변형 민감도에 대한 입력정보를 입력부(310)에 입력할 수 있다.

[0122] 여기서, 임계 충격력에 대한 입력정보는 해당 로봇(10)에 충돌발생으로 판별될 수 있는 임계 충격력에 대한 값이 적용되며, 작업자가 로봇(10)의 사양 및 작업 상황 등을 고려하여 로봇(10)의 작업 전에, 입력부(310)에 입력할 수 있다.

[0123] 임계점 산출유닛(320)은 상기 입력모듈에서 입력된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 임계 충격력이 상기 로봇(10)에 인가될 경우, 상기 협동로봇에 발생하는 임계 토크 값을 산출하는 임계 토크 산출부(321)와, 상기 임계 토크 산출부(321)에서 산출된 임계 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출하는 임계값 산출부(322)를 구비한다.

[0124] 상기 임계 토크 산출부(321)는 먼저, 입력된 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 하기의 수학식 4를 통해 상기 로봇(10)의 가변형 민감도 값을 산출한다.

수학식 4

[0125]
$$S = |n| \cos(\alpha)$$

[0126] 여기서, S는 상기 로봇(10)의 가변형 민감도 값이고, n은 로봇의 자세 벡터로 상기 로봇(10)이 구동할 때 자세가 변화하면서 실시간으로 변화하는 값이고, α 는 작업자에 의해 입력된 상기 가변형 민감도에 대한 입력정보이다.

[0127] 다음, 임계 토크 산출부(321)는 산출된 상기 가변형 민감도 값과, 입력된 상기 임계 충격력에 대한 입력정보를 토대로 하기의 수학식 5를 통해 임계 토크 값을 산출한다.

수학식 5

[0128] $\tau_{threshold} = |F_k|S$

[0129] 여기서, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, F_k 는 작업자에 의해 입력된 상기 임계 충격력에 대한 정보이고, S 는 산출된 로봇(10)의 가변형 민감도 값이다. 임계 토크 산출부(321)는 산출된 임계 토크 값($\tau_{threshold}$)을 임계값 산출부(322)에 전달한다.

[0130] 임계값 산출부(322)는 상기 임계 토크 산출부(321)에서 산출된 상기 임계 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출한다. 임계 잔차 값과 충돌 토크의 관계는 운동량 관측기(200)에서 확인할 수 있다. 여기서, 운동량 관측기(200)의 필터부(202)가 first order low pass filter 형태이면, 잔차 값(r)과, 충돌 토크(τ_k)의 전달 함수는 1차 low pass filter의 형태를 갖는다. 상기 임계값 산출부(322)는 하기의 1차 저역 필터 식을 이용한다.

[0131]
$$\frac{r(s)}{\tau_k(s)} = \frac{K}{s+K}$$

[0132] 상기 1차 저역 필터 식을 라플라스 역변환을 하면 다음과 같다.

수학식 6

[0133]
$$r(t) = (1 - e^{-tK})\tau_k(t)$$

[0134] 여기서, t 는 상기 충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간이고, $r(t)$ 은 상기 t 에 따른 잔차 값이고, $\tau_k(t)$ 은 상기 t 에 따른 로봇(10)에 작용하는 충격 토크 값이고, K 는 상기 협동로봇의 작동상태를 관측하여 상기 협동로봇에 작용하는 충격토크를 산출하기 위한 운동량 관측기(200)의 이득이다.

[0135] 상기 $r(t)$ 즉, 수학식 6에 관한 식에서 상기 $\tau_k(t)$ 식과 상기 민감도 S 에 관한 식을 적용하면 하기와 같다.

[0136]
$$r_{Threshold} = \|1 - e^{-tK}\| \|F_k\| S$$

[0137] 상기 식에서 $r_{Threshold}$ 를 임계 잔차 값 즉, 임계값이라고 정의한다. 또한 상기 식에서 e 는 자연상수 그리고 t 는 충돌발생 후 충격력이 최대값에 도달하는데 걸리는 시간으로 정의한다. 본 발명의 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈, 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템은 하기의 수식을 이용한다.

[0138] $\|r\| > r_{threshold}$, 상기 $\|r\|$ 은 상기 잔차값 r 의 노름(norm)이다.

[0139] 도 8은 상기 수학식 6에 대한 그래프이다. 상기 수학식 6은 로봇(10)에 작용하는 충돌 토크(τ_k)에 따른 잔차 값(r)의 응답특성을 나타낸다. 도면을 참조하면, 충돌 토크(τ_k)가 상승하면 잔차 값(r)은 상승하고, 충돌 토크(τ_k)가 하강하면 잔차 값도 하강한다. 또한, 충돌 토크(τ_k)가 0이면, 잔차 값은 0에 수렴한다. 즉, 잔차 값(r)의 최고치는 충돌 토크(τ_k)이 최고 값이 되는 t 에서 발생한다. 따라서, 임계 잔차값을 산출하기 위해 t 는 충돌 토크(τ_k)가 최고값에 도달하기 까지 걸리는 시간으로 설정하는 것이 바람직하다.

[0140] 따라서, 상기 임계값 산출부(322)는 상기 임계 토크 산출부(321)에서 산출된 상기 임계 토크 값을 토대로 하기의 수학식7을 통해 상기 임계 잔차 값을 산출한다.

수학식 7

$$r_{threshold} = \|(1 - e^{-tK})\tau_{threshold}\|$$

여기서, $r_{threshold}$ 은 상기 임계 잔차 값이고, $\tau_{threshold}$ 은 상기 임계 토크 값이고, t 는 상기 임계충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간이고, K 는 상기 협동로봇의 작동상태를 관측하기 위한 운동량 관측기(200)의 이득이다. 상기 t 는 작업자가 입력부(310)를 통해 해당 로봇(10)의 스펙에 따라 기설정된 값을 입력할 수 있다.

한편, 도 9에는 실제 돼지 피부 충돌 실험을 통해 획득한 시간에 따른 충격력 데이터가 표시되어 있다. 도면을 참조하면, 충격력이 로봇(10)에 인가된 초기 시점으로부터 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하기까지의 경과시간은 0.003 초임을 알 수 있다.

따라서, 임계값 산출부(322)는 상기 임계 충격력이 상기 로봇(10)에 인가된 초기시점으로부터 상기 로봇(10)에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간 즉, 수학식 7에서의 t 를 0.003초로 설정하여 상기 임계 잔차 값을 산출하는 것이 바람직하다. 임계값 산출부(322)는 산출된 임계 잔차 값을 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 판별하는 판별기준으로 선정하여 충돌 판별부(400)로 전송한다.

한편, 충격력이 로봇(10)에 인가된 초기 시점으로부터 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하기까지의 경과시간(t)은 이에 한정하는 것이 아니라 협동로봇의 기능 또는 크기에 따라 작업자가 임의의 값을 설정할 수도 있다.

충돌 판별부(400)는 임계값 산출부(322)에서 선정된 상기 임계 잔차 값과, 운동량 관측기(200)에서 제공되는 실제 잔차 값을 비교하여 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 판별한다. 상기 충돌 판별부(400)는 운동량 관측기(200)에서 제공되는 실제 잔차 값이 상기 임계 잔차 값 이상일 경우, 로봇(10)에 충돌이 발생된 것으로 판단하여 로봇(10)의 작동을 정지시키고, 경고신호를 관리자의 단말기로 전송할 수 있다.

한편, 도 10에는 본 발명에 따른 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템을 이용하여 충돌 실험을 진행한 결과가 표시되어 있다. 도면을 참조하면, 산출된 임계잔차 값을 이용하여 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 용이하게 판별할 수 있음을 알 수 있다.

종래에 사용되는 로봇(10)의 충돌 판별 수단은 로봇(10)에 인가된 충격력을 기준으로 판별한다. 즉, 상기 로봇(10)의 충돌 판별 수단은 로봇(10)에 마련된 운동량 관측기(200)에서 제공되는 실제 잔차 값을 토대로 로봇(10)에 작용하는 충돌 토크를 산출하여 기설정된 임계 충격력과 비교한다. 종래의 로봇(10)의 충돌 판별 수단에 따른 충돌 판별식은 하기의 수학식 8과 같다.

수학식 8

$$|F_k| < (J_k^T)^{-1} r$$

여기서, $|F_k|$ 는 작업자에 의해 설정된 임계 충격력이고, $J_{k(i)}^T$ 는 로봇(10)의 충돌 지점까지의 자코비안이고, r 은 로봇(10)에 설치된 운동량 관측기(200)에서 관측된 실제 잔차 값이다. 수학식 8에 따르면, $(J_{k(i)}^T)^{-1}$ 항과 같이 자코비안 역행렬 연산이 요구되므로 계산 부하가 높아 신속하게 충돌을 판별하는데 어려움이 있다.

상술된 바와 같이 구성된 본 발명에 따른 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템은 임계 충격력에 대한 로봇(10)의 임계 잔차 값을 충돌 발생 판별 기준으로 선정하므로 협동로봇의 충격 여부를 판별하는 과정에 있어서, 자코비안의 역행렬 연산이 요구되지 않아 계산부하가 낮고, 보다 신속한 충돌 판별이 가능하다는 장점이 있다.

한편, 도 11에는 본 발명에 따른 센서리스 충돌 판별 방법에 대한 순서도가 도시되어 있다.

- [0153] 도면을 참조하면, 상기 센서리스 충돌 판별 방법은 입력정보 수신단계(S110), 임계값 산출단계(S120) 및 기준 선정 단계(S130)를 포함한다.
- [0154] 상기 입력정보 수신단계(S110)는 입력부(310)를 통해 입력된 로봇(10)의 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 수신하는 단계이다. 입력부(310)는 입력된 정보를 임계점 산출유닛(320)의 임계 토크 산출부(321)로 전송한다.
- [0155] 임계값 산출단계(S120)는 상기 입력정보 수신단계(S110)를 통해 수신된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로, 상기 로봇(10)의 작동을 위해 컨트롤러(11)에서 상기 로봇(10)으로 입력된 입력정보와, 상기 로봇(10)의 측정된 작동 상태에 대한 관측정보의 차이에 대한 임계 잔차 값 즉, 임계값을 산출하는 단계이다. 여기서, 임계값 산출단계(S120)는 임계 토크 산출단계(S121) 및 임계값 산출단계(S122)를 포함한다.
- [0156] 상기 임계 토크 산출단계(S121)는 상기 입력정보 수신단계(S110)에서 수신된 상기 임계 충격력 및 가변형 민감도에 대한 입력정보를 토대로 상기 임계 충격력이 상기 로봇(10)에 인가시 발생하는 임계 충격 토크 값을 산출하는 단계이다. 여기서, 임계 토크 산출부(321)는 상술된 수학적 식 4를 통해 로봇(10)의 가변형 민감도 값을 산출한 다음, 산출된 가변형 민감도 값을 토대로 상기 수학적 식 5를 통해 임계 토크 값을 산출한다. 임계 토크 산출부는 산출된 임계 토크 값을 임계값 산출부(322)로 전송한다.
- [0157] 상기 임계값 산출단계(S122)는 상기 임계 토크 산출단계(S121)에서 산출된 임계 토크 값을 토대로 상기 임계 잔차 값을 산출하는 단계이다. 여기서, 임계값 산출부(322)는 상술된 수학적 식 6을 토대로 임계 잔차 값을 산출한다. 이때, 임계값 산출부(322)는 임계충격력이 상기 협동로봇에 인가된 초기시점으로부터 상기 협동로봇에 작용하는 충격 토크 값이 최대값에 도달하는 시점까지의 경과시간을 0.003초로 설정하여 상기 임계 잔차 값을 산출하는 것이 바람직하다.
- [0158] 상기 기준 선정 단계(S130)는 상기 임계값 산출단계(S120)에서 산출된 상기 임계 잔차 값을 상기 로봇(10)의 충돌 발생 여부를 판별하는 판별기준으로 선정하는 단계이다.
- [0159] 상술된 바와 같이 구성된 본 발명에 따른 로봇(10)의 충돌 기준 선정 방법은 임계 충격력에 대한 로봇(10)의 임계 잔차 값을 충돌 발생 판별 기준으로 선정하므로 협동로봇의 충격 여부를 판별하는 과정에 있어서, 자코비안의 역행렬 연산이 요구되지 않아 계산부하가 낮고, 보다 신속한 충돌 판별이 가능하다는 장점이 있다.
- [0160] 제시된 실시 예들에 대한 설명은 임의의 본 발명의 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 이용하거나 또는 실시할 수 있도록 제공된다. 이러한 실시예들에 대한 다양한 변형들은 본 발명의 기술 분야에서 통상의 지식을 가진자에게 명백할 것이며, 여기에 정의된 일반적인 원리들은 본 발명의 범위를 벗어남이 없이 다른 실시예들에 적용될 수 있다. 그리하여, 본 발명은 여기에 제시된 실시예들로 한정되는 것이 아니라, 여기에 제시된 원리들 및 신규한 특징들과 일관되는 최광의의 범위에서 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

- [0161] 100: 운동량 관측기를 이용한 로봇용 잔차 연산 시스템
 200: 관측기
 201: 로봇 관측부
 202: 필터부
 300: 로봇용 가변형 충돌판별 민감도 및 임계값 선정 모듈
 310: 입력부
 320: 임계점 산출유닛
 321: 임계 토크 산출부
 322: 임계값 산출부
 400: 충돌 판별부
 S110: 입력정보 수신단계

S120: 임계값 산출단계

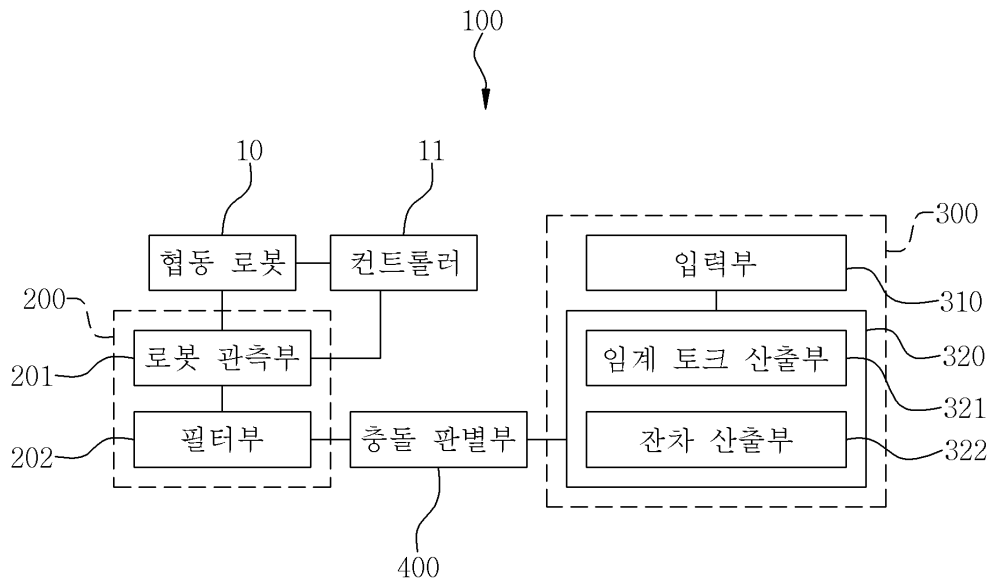
S121: 임계 토크 산출단계

S122: 임계값 산출단계

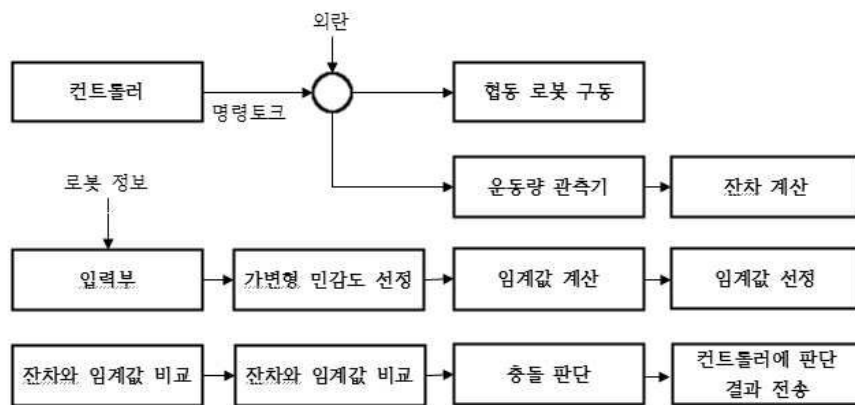
S130: 기준 선정 단계

도면

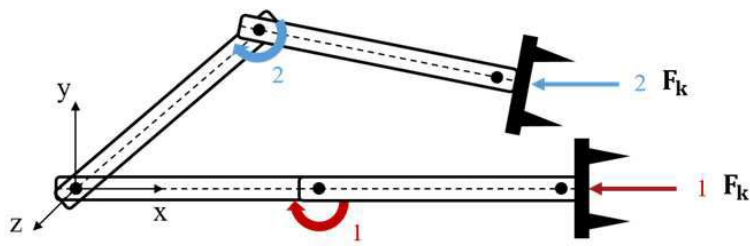
도면1a



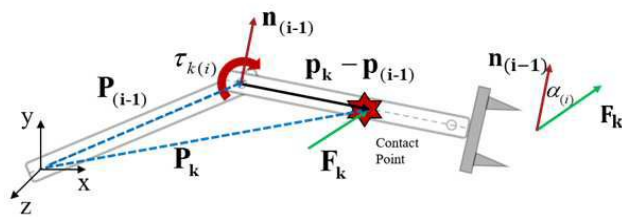
도면1b



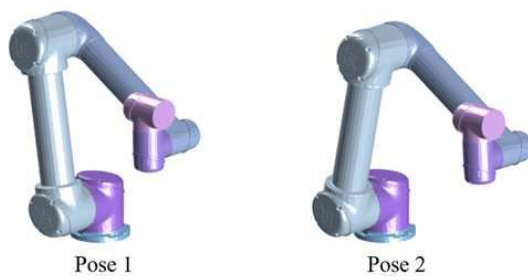
도면2



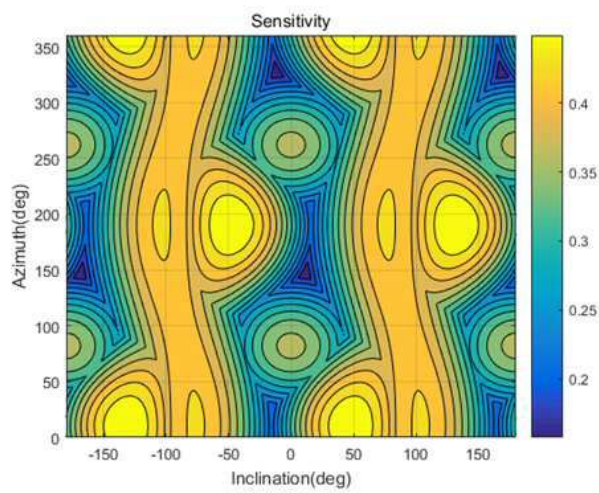
도면3



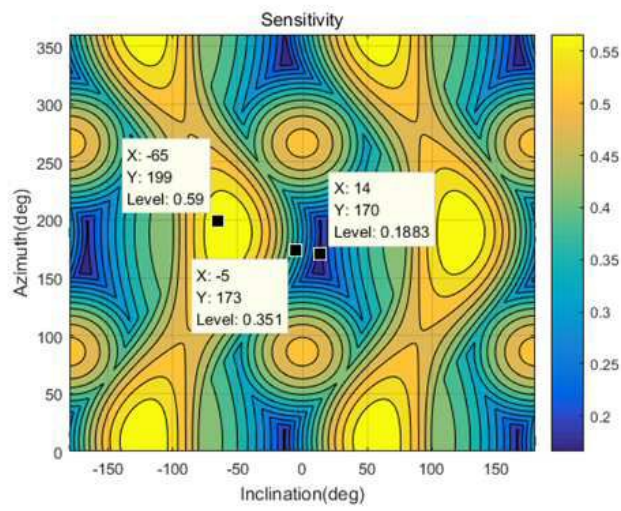
도면4



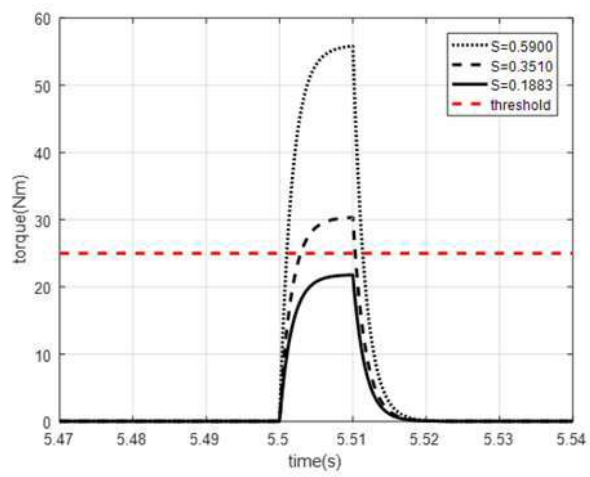
도면5



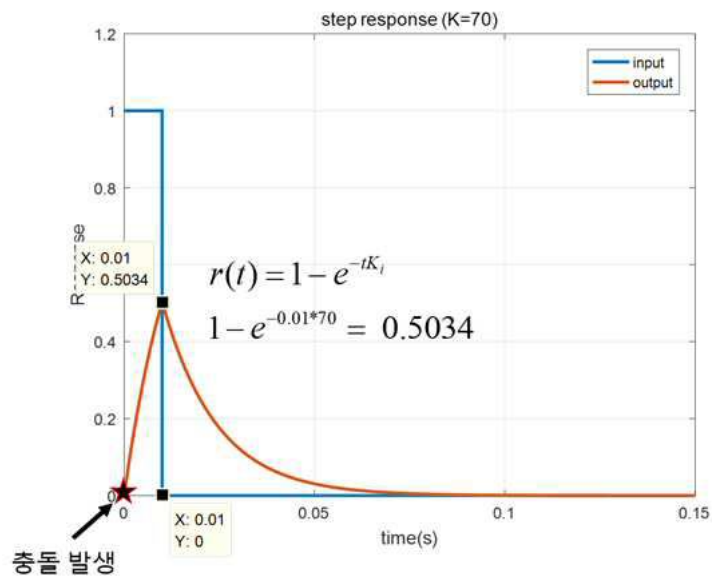
도면6



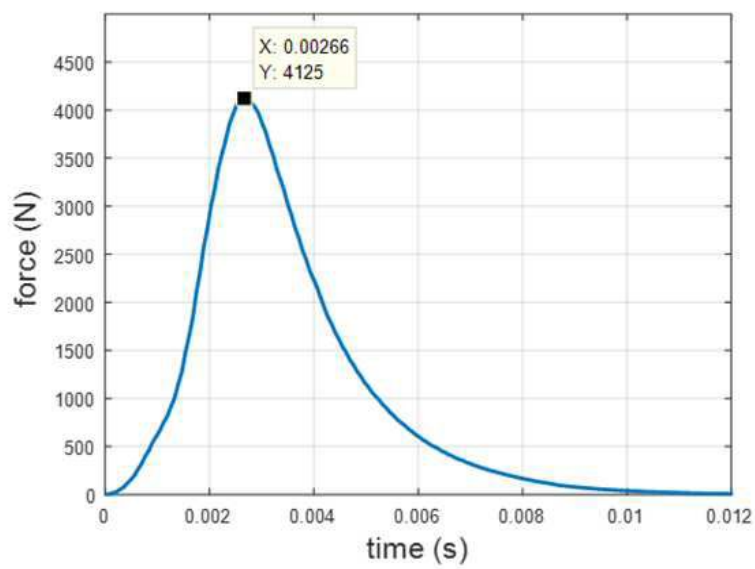
도면7



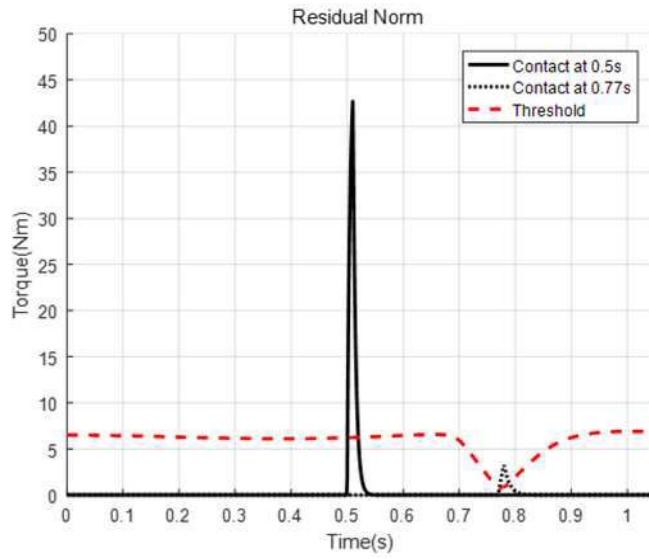
도면8



도면9



도면10



도면11

