



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0022043
(43) 공개일자 2020년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/677 (2006.01) B25J 9/16 (2006.01)
G05B 19/416 (2006.01) H01L 21/67 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/67742 (2013.01)
B25J 9/1664 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7004720(분할)
(22) 출원일자(국제) 2012년08월30일
심사청구일자 없음
(62) 원출원 특허 10-2014-7007271
원출원일자(국제) 2012년08월30일
심사청구일자 2017년07월19일
(85) 번역문제출일자 2020년02월18일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/052977
(87) 국제공개번호 WO 2013/033289
국제공개일자 2013년03월07일
(30) 우선권주장
61/530,651 2011년09월02일 미국(US)

(71) 출원인
브룩스 오토메이션 인코퍼레이티드
미합중국, 매사추세츠 01824, 첼름스포트, 엘리자
베스 드라이브 15
(72) 발명자
크리쉬나스아미 자야라만
미국 매사추세츠 01821 빌러리카 제니퍼 씨클 5
호섹 마틴
미국 매사추세츠 01854 로웰 맘모스 로드 68
(74) 대리인
리앤목특허법인

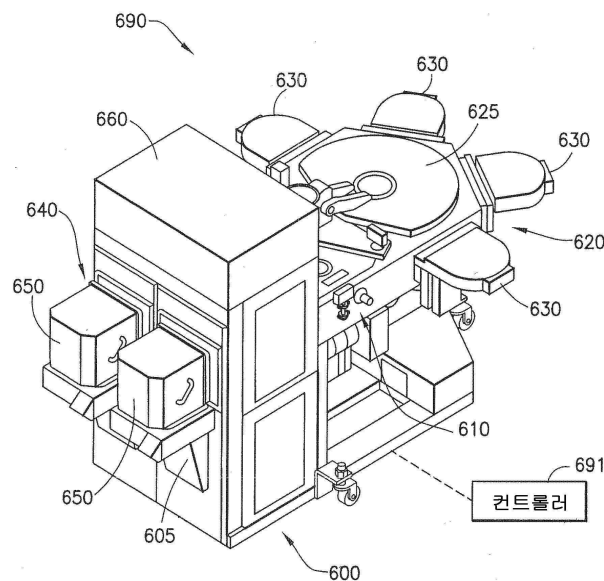
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 로봇 이송 장비들을 위한 시간 최적화 궤적들

(57) 요약

적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점을 향하여 이어진 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따르는, 로봇 매니퓰레이터의 순방향 시간 최적화 궤적을 생성하고; 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점을 향하여 이어진 상기 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



적어도 하나의 경로 세그먼트를 따르는, 상기 매니퓰레이터의 역방향 시간 최적화 궤적을 생성하고; 위치-속도 관성계 상에서, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들 사이에 실질적으로 불연속성이 없도록 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들을 결합하는 평탄화 브릿지를 사용하여 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 상기 순방향 및 역방향 궤적들이 함께 블렌딩(blend)된, 완전한 시간 최적화 궤적을 얻기 위하여 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들을 결합하는 것을 포함하는, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 포함하는 이송 경로를 구비한, 상기 로봇 매니퓰레이터 용, 시간 최적화 궤적 생성 방법.

(52) CPC특허분류

G05B 19/416 (2013.01)

H01L 21/67259 (2013.01)

H01L 21/67766 (2013.01)

G05B 2219/40449 (2013.01)

G05B 2219/40466 (2013.01)

Y02P 90/083 (2015.11)

명세서

청구범위

청구항 1

기관 처리 장치에서 기관을 처리하기 위한 방법으로서,

상기 방법은 :

최대 가용 토크를 갖는 적어도 하나의 모터 또는 변속기를 구비한 구동부를 제공하는 단계;

기관 홀더를 갖는 로봇 매니퓰레이터를 제공하는 단계로서, 상기 로봇 매니퓰레이터는 이송 경로를 가지며, 상기 이송 경로의 적어도 하나의 경로 세그먼트는 상기 적어도 하나의 모터 또는 변속기에 의해 작용되는, 단계;

상기 구동부에 동작 가능하게 연결된(operably coupled) 로봇 매니퓰레이터 컨트롤러를 제공하는 단계;

상기 로봇 매니퓰레이터 컨트롤러를 이용하여, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점을 향하여 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따라 상기 로봇 매니퓰레이터의 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적(forward bang-bang max torque trajectory)을 생성하는 단계로서, 상기 생성된 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적은 상기 최대 가용 토크에 의해 한정되는, 단계;

상기 로봇 매니퓰레이터 컨트롤러를 이용하여, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점을 향하여 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따라 상기 로봇 매니퓰레이터의 역방향(reverse) 뱅뱅 최대 토크 궤적을 생성하는 단계로서, 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적은 상기 최대 가용 토크에 의해 한정되며, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점 및 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점은 모두 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적의 생성과 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적의 생성에 공동인, 단계; 및

상기 로봇 매니퓰레이터 컨트롤러를 이용하여, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적과 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적을 결합하여 완전한 뱅뱅 최대 토크 궤적을 획득하는 단계로서, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적은, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적과 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 사이에 실질적으로 불연속성이 없도록 위치-속도 관성계 상에서 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적과 상기 역방향 뱅뱅 토크 궤적을 결합하는 평탄화 브릿지와 함께 블랜딩되는, 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 완전한 뱅뱅 최대 토크 궤적은 비파라미터화되며, 그리고 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트에 걸쳐 시간 최적화 궤적인, 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 평탄화 브릿지는 상기 평탄화 브릿지의 각 끝점들에서 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적과 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 각각에 연결되며,

상기 평탄화 브릿지의 각 끝점들은, 상기 위치-속도 관성계에서, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 중 각각의 하나와, 상기 각 끝점들에서 정접(tangent)하는, 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 평탄화 브릿지의 모든 점들에서의 상기 평탄화 브릿지의 궤적의 특성들은 각 끝점들로부터 각각 순방향 및 역방향으로 연장됨에 따라, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적의 대응되는 특성들과 같거나 그보다 낮은, 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 완전한 뱅뱅 최대 토크 궤적은 상기 이송 경로에 실질적으로 독립적인, 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 이송 경로를 따른 가속도는, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적, 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 상기 평탄화 브릿지들에 대해 그리고 그것들 사이에서 실질적으로 연속적인, 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 평탄화 브릿지는, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 사이의 곡선을 피팅(fitting)하는 수치 해법인, 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 평탄화 브릿지는 2차 베지어 곡선, 3차 베지어 곡선, 또는 큐빅 스플라인(cubic spline)을 포함하는, 방법.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 적어도 하나 이상의 경로 세그먼트들 각각에 대하여, 각각의 평탄화 브릿지를 포함하는 각각의 완전한 뱅뱅 최대 토크 궤적이 생성되는, 방법.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 방법은 평탄화 브릿지와 함께 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 인접한 경로 세그먼트들의 끝점들을 블렌딩하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 11

기관 처리 틀에 있어서,

상기 기관 처리 틀은 :

최대 가용 토크를 갖는 적어도 하나의 모터 또는 변속기를 구비한 구동부;

적어도 하나의 경로 세그먼트를 갖는 이송 경로를 따라 이동하는 기관 홀더를 포함하는 로봇 매니퓰레이터; 및

상기 로봇 매니퓰레이터에 연결된 컨트롤러를 포함하며,

상기 컨트롤러는 :

상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점을 향하여 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따라 상기 로봇 매니퓰레이터의 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적을 생성하도록 구성되는데, 상기 생성된 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적은 상기 최대 가용 토크에 의해 한정되며;

상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점을 향하여 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따라 상기 로봇 매니퓰레이터의 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적을 생성하도록 구성되는데, 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적은 상기 최대 가용 토크에 의해 한정되며, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점 및 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점은 모

두 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적의 생성과 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적의 생성에 공통이며; 그리고

상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적과 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적을 결합하여 완전한 뱅뱅 최대 토크 궤적을 획득하도록 구성되는데, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적은, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적과 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 사이에 실질적으로 불연속성이 없도록 위치-속도 관성계 상에서 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적과 상기 역방향 뱅뱅 토크 궤적을 결합하는 평탄화 브릿지와 함께 블렌딩되는, 기관 처리 툴.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 완전한 뱅뱅 최대 토크 궤적은 비파라미터화되며, 그리고 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트에 걸쳐 시간 최적화 궤적인, 기관 처리 툴.

청구항 13

청구항 11에 있어서,

상기 컨트롤러는 상기 평탄화 브릿지를 상기 평탄화 브릿지의 각 끝점들에서 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적과 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 각각에 연결하도록 더 구성되며,

상기 평탄화 브릿지의 각 끝점들은, 상기 위치-속도 관성계에서, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 중 각각의 하나와, 상기 각 끝점들에서 정접(tangent)하는, 기관 처리 툴.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 평탄화 브릿지의 모든 점들에서의 상기 평탄화 브릿지의 궤적의 특성들은 각 끝점들로부터 각각 순방향 및 역방향으로 연장됨에 따라, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적의 대응되는 특성들과 같거나 그보다 낮은, 기관 처리 툴.

청구항 15

청구항 11에 있어서,

상기 이송 경로를 따른 가속도는, 상기 순방향 뱅뱅 최대 토크 궤적, 상기 역방향 뱅뱅 최대 토크 궤적 및 상기 평탄화 브릿지들에 대해 그리고 그것들 사이에서 실질적으로 연속적인, 기관 처리 툴.

청구항 16

청구항 11에 있어서,

상기 평탄화 브릿지는 2차 베지어 곡선, 3차 베지어 곡선, 또는 큐빅 스플라인(cubic spline)을 포함하는, 기관 처리 툴.

청구항 17

청구항 11에 있어서,

상기 컨트롤러는 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트들 각각에 대하여, 각각의 평탄화 브릿지를 포함하는 각각의 완전한 뱅뱅 최대 토크 궤적을 생성하도록 더 구성되는, 기관 처리 툴.

청구항 18

청구항 11에 있어서,

상기 컨트롤러는 평탄화 브릿지와 함께 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 인접한 경로 세그먼트들의 끝점들을 블렌딩하도록 더 구성되는, 기관 처리 툴.

청구항 19

청구항 11에 있어서,

상기 완전한 뱅뱅 최대 토크 궤적은 상기 이송 경로에 실질적으로 독립적인, 기관 처리 틀.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 예시적 실시예들은 일반적으로 로봇 매니퓰레이터(robotic manipulator)들과, 더욱 구체적으로는 로봇 매니퓰레이터들을 위한 매끄러운(평탄화된) 시간 최적화 궤적들의 생성 방법과 생성 수단들과 관련된다.

배경 기술

[0002] 궤적 생성은 로봇 매니퓰레이터에 의해 유지되는 기관(substrate)들을 한 장소에서 다른 장소로 운반할 때 전형적으로 사용된다. 가벼운 페이로드(payload)들을 옮기는 로봇 시스템(robotic system)들에서는 충분한 토크(torque) 여유를 제공하도록 과도하게 설계되는데 반해, 높거나 무거운 페이로드(payload)들의 다이렉트-드라이브(direct-drive)와 하모닉-드라이브(harmonic-drive) 로봇 매니퓰레이터 모두에 대하여는 증가된 피크(peak) 토크 요구량이 성능, 크기, 단가, 수명의 요소가 된다. 종래의 궤적 생성 방법들은 일반적으로 토크 제한을 염두에 두거나 매끄럽게 제어된(smooth commanded) 궤적을 생성하지 않는다. 예를 들어, 잘 알려진 서보 제어 접근법은 Bobrow 등(International Journal of Robotic Research, Vol. 4, No. 3, 1985)의 "특정 경로들 상에 있어서 로봇 매니퓰레이터들의 시간 최적화 제어(Time-optimal control of robotic manipulators along specific paths)"라는 제목의 논문에서 찾아볼 수 있으며, 최대 허용 속도를 초과하지 않고 로봇 엔드 이펙터(robot end effector)의 가속과 감속 사이에 전환되는 점들을 확립하도록 작동한다. 일반적으로 위 전환점들은, 모든 가용한 시스템 동력(power)을 사용하는 모든 시간 동안, 시스템 상태를 최소의 시간 내에 변화시킬 수 있도록 작용한다.

[0003] 시간 최적화인 반면, 이런 접근법은 가변적이거나 계량할 수 없는(unquantifiable) 시스템 공명들로 인해 실제 세계에의 적용은 그 유효성(viability)이 제한될 수 있다. 더욱 구체적으로는, 저크(jerk, 시간에 대한 가속도의 변화)에 있어 급격한 변화는 시스템에 있어 광범위한 스펙트럼의 들뜸(excitation)으로 작용할 수 있고, 최종 위치에 있어 받아들이기 힘들만큼 긴 안착 시간(settle time)을 초래할 수 있다.

[0004] 뱅뱅 제어(bang-bang control)로부터 궤적들의 불연속성을 제거하기 위한 Bobrow 외에서와 같은 종래의 시스템들은 궤적 프로파일(profile)들을 제한하고, 그 궤적 프로파일들의 가속도, 저크와 저크율(jerk rate)과 같은 동역학적 특성들을 제한함으로써, 비최적의 궤적들과, 따라서 더 낮은 효율의 결과를 초래한다. 이 점은, 더 크고, 더 무거운 페이로드를 다루도록 구성된 로봇 시스템들에서 특히 그러하다.

[0005] 예컨대 최대 시스템 토크와 페이로드 가속도들을 사용하는, 매끄럽게 제어된 시간 최적 궤적들을 제공하는 경로 생성법을 갖추는 것이 유리할 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 종래의 문제점을 해결하여, 로봇 매니퓰레이터들을 위한 시간 최적화된 매끄러운(smooth) 궤적들의 생성 방법과 수단을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은:

[0008] 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점을 향하여 이어진 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따르는, 로봇 매니퓰레이터의 순방향 시간 최적화 궤적을 생성하고; 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점을 향하여 이어진 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따르는, 상기 매니퓰레이터의 역방향 시간 최적화 궤적을 생성하고; 위치-속도 관성계 상에서, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들 사이에 실질적으로 불연속성이 없도록 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들을 결합하는 평탄화 브릿지를 사용하여 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의

상기 순방향 및 역방향 궤적들이 함께 섞인, 완전한(complete) 시간 최적화 궤적을 얻기 위하여 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들을 결합하는 것을 포함하는, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 포함하는 이송 경로를 구비한, 상기 로봇 매니퓰레이터를 위한 시간 최적화 궤적 생성 방법 및 수단을 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0009]

개시된 실시예들의 기술한 양상들 및 기타 특징들은, 첨부된 도면들과 연관지어 아래의 설명에서 설명된다.

도 1은 상기 개시된 실시예의 양상들을 통합하는 처리 툴의 개념도이다.

도 2는 상기 개시된 실시예의 양상들을 통합하는 또다른 처리 툴의 개념도이다.

도 3a 내지 3d는 상기 개시된 실시예의 양상들이 적용될 수 있는 예시적인 기관 이송 경로들이다.

도 4는 로봇 팔의 종래 궤적의 “S-곡선 프로파일(S-curve profile)”을 도시한다.

도 5a는 상기 개시된 실시예의 양상에 따른 시간 최적화 궤적을 도시하는 예시적인 그래프이다.

도 5b는 상기 개시된 실시예의 양상에 따른 시간 최적화 궤적의 생성을 도시하는 흐름도이다.

도 5c와 5d는 상기 개시된 실시예의 양상들에 따른 시간 최적화 궤적들을 도시하는 예시적인 그래프들이다.

도 6a는 상기 개시된 실시예의 양상에 따라 생성된 시간 최적화 궤적에 있어서 모터 토크(torque)를 도시하는 예시적 그래프이다.

도 6b는 상기 개시된 실시예의 양상에 따라 생성된 시간 최적화 궤적의 엔드 이펙터의 가속도 프로파일을 도시하는 예시적 그래프이다.

도 7a는 상기 개시된 실시예의 양상에 따라 시간 대비 가속도의 플롯(plot)을 도시한 예시적 그래프이다.

도 7b와 7c는 상기 개시된 실시예의 양상에 따라 시간 대비 모터 토크(torque)의 플롯들을 도시한 예시적 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010]

도 1은 개시된 실시예의 양상들에서 사용될 수 있는 예시적인 기관(substrate) 처리 장치를 도시한다. 비록 상기 개시된 실시예의 양상들이 도면들을 참조하여 기술될 것임에도 불구하고, 상기 실시예가 많은 대체적인 형태들로 실시될 수 있다는 것이 이해되어야 할 것이다. 더욱이, 어떠한 적합한 크기든지, 구성요소들이나 재료들의, 모양 또는 유형이든지 사용될 수 있을 것이다.

[0011]

도 1에서 도시될 수 있는 것과 같이, 예컨대 반도체 툴 스테이션(tool station)(690)과 같은 기관 처리 장치가, 상기 개시된 실시예의 양상에 맞춰 보여질 수 있다. 비록 반도체 또는 기관 처리 툴이 첨부 도면들에서 보여질 수 있지만, 본 명세서에서 설명된, 개시된 실시예의 양상들은, 로봇 매니퓰레이터를 갖춘 어떠한 툴 스테이션 또는 응용(application)에도 적용될 수 있다. 상기 기관 처리 툴(690)은, 예컨대 로드 록(load lock)(610)에 의해 분리된, 예를 들어, 별개의 가스체들을 갖는, 별개의 부분들을 포함할 수 있다(예: 한쪽에는 비활성 기체와 다른 쪽에는 진공, 또는 한쪽에는 대기의 깨끗한 공기와 다른 쪽에는 진공/비활성 기체). 한 양상에 있어서, 상기 툴(690)은 클러스터 툴(cluster tool)로 보여질 수 있으나, 상기 개시된 실시예들의 양상들은 어떠한 적합한 툴 스테이션에도 적용될 수 있으며, 예를 들면 도 2에서 보여지고 2006년 5월 26일자 출원된 “Linearly Distributed Semiconductor Workpiece Processing Tool(선형적으로 분배되는 반도체 공정 소재 처리 툴)”이라는 제목의 미국 특허출원 제11/442,511호에 설명된 것과 같은 선형 툴 스테이션에 적용될 수 있으며, 그 개시는 참조에 의해 그 전체가 본 명세서에 포함되어 있다. 상기 개시된 실시예의 양상들이 사용될 수 있는 다른 예시적 기관 처리 툴들은 다음을 포함하지만 이에 국한되지 않으며, 그것들의 전체 내용은 참조에 의해 여기에 포함되어 있다: 2008년 5월 19일자 출원된 미국 특허출원 제12/123,329호; 2008년 5월 19일자 출원된 미국 특허출원 제12/123,365호; 2008년 12월 9일자 출원된 미국 특허출원 제12/330,780호; 2011년 1월 13일자 출원된 미국 특허출원 제13/159,034호; 2009년 8월 17일자 출원된 미국 특허출원 제12/542,588호; 그리고 미국 특허 제 7,575,406호; 제7,959,395호; 및 제7,988,398호. 상기 툴 스테이션(690)은 일반적으로 대기 중의(atmospheric) 프론트 엔드(front end)(600), 진공의(vacuum) 로드 록(load lock)(610), 그리고 진공의 백 엔드(620)를 포함한다. 상기 개시된 실시예의 다른 양상들에서는, 상기 툴 스테이션은 어떤 적절한 구성을 구비할 수 있다. 상기 프론트 엔드(600), 상기 로드 록(610) 및 상기 백 엔드(620) 각각의 구성요소(component)들은, 예컨대 클러스터

링된 아키텍처 컨트롤(clustered architecture control)과 같은, 어떠한 적절한 제어 아키텍처(control architecture)의 부분이 될 수 있는 컨트롤러(controller)(691)에 연결된다.

[0012] 상기 제어 시스템은, “Scalable Motion Control System(스케일링 가능한 동작 제어 시스템)”이라는 제목의 2005년 7월 11일자 출원된 미국 특허출원 제11/178,615호(현재 미국 특허 제7,904,182호)에 개시된 것들과 같이, 하나의 주 컨트롤러, 클러스터 컨트롤러들과 독립(autonomous) 리모트 컨트롤러들을 구비하고 있는 페루프 컨트롤러일 수 있으며, 그 개시는 그 전체 내용이 참조에 의해 본 명세서에 포함되어 있다. 상기 개시된 실시예의 다른 양상들에 있어서, 어떤 적합한 컨트롤러 및/또는 제어 시스템이 활용될 수 있다. 컨트롤러(691)와 같은 상기 처리 툴의 컨트롤러, 또는 상기 기관 처리 툴에 연결된 어떤 다른 적합한 컨트롤러도 본 명세서에 기술된 것과 같은 상기 최적화 레직들을 생성하도록 구성된 프로세서 및/또는 메모리를 포함할 수 있다. 일 양상에 있어서는, 상기 컨트롤러(691)가, 아래에서 달리 더 기술되는 바와 같이 상기 로봇 이송의 동작에 작용하는데 쓰이는 모든 가용한 전력이 사용되도록(예를 들면, 최대 토크) 상기 로봇 이송을 제어하는 “뱅뱅(bang-bang)” 컨트롤러로 알려진 것을 위해 구성될 수 있다.

[0013] 일 양상에 있어서는, 상기 프론트 엔드(600)는 예를 들어 EFEM(장비 프론트 엔드 모듈, equipment front end module)과 같이, 일반적으로 적재 포트 모듈들(605)과 소형 환경(mini-environment)(660)을 포함한다. 상기 적재 포트 모듈들(605)은, 300mm 적재 포트들, 전면 개방 또는 저면 개방 박스(box)들/주머니(pod)들 및 카세트(cassette)들에 대한 SEMI 표준 E15.1, E47.1, E62, E19.5 또는 E1.9에 적합한 BOLTS(box opener/loader to tool standard) 인터페이스들일 수 있다. 대체적인 실시예들에 있어서, 상기 적재 포트 모듈들은, 200mm 웨이퍼 인터페이스들, 400mm 웨이퍼 인터페이스들이나 다른 어떠한 적합한 기관 인터페이스들(예를 들면, 더 크고 작은 웨이퍼들이나; 평면 패널 디스플레이들, LED 패널들 또는 태양 전지판들을 위한 평면 패널들과 같은)로도 구성될 수 있다. 비록 도 1에서는 2개의 적재 포트 모듈들이 도시되어 있으나, 상기 개시된 실시예의 다른 양상들에 있어서는 어떠한 적절한 수의 적재 포트 모듈들도 상기 프론트 엔드(600)에 일체화될 수 있을 것이다. 상기 적재 포트 모듈들(605)은, 고가식의(overhead) 운송 시스템, 자동 유도 운반체들, 인간 유도 운반체(person guided vehicle)들, 레일 유도 운반체들 또는 어떠한 다른 적합한 운송 방법으로부터, 기관 캐리어(carrier)들 또는 카세트들(650)을 받도록 구성될 수 있다. 상기 적재 포트 모듈들(605)은 적재 포트들(640)을 통해 소형 환경(mini-environment)(660)과 접속될 수 있다. 상기 적재 포트들(640)은 상기 기관 카세트들(650)과 상기 소형 환경(660) 사이에 기관들의 통과를 허용할 수 있다. 상기 소형 환경(660)은 일반적으로 상기 기관들을 상기 카세트들(650)로부터, 예를 들어, 상기 로드 록(610)으로 이송하기 위한 이송 로봇(도시되지 않은)을 포함한다. 일 양상에서 상기 이송 로봇은, 예를 들어, 그 개시가 참조에 의해 그 전체가 본 명세서에 포함된 미국 특허 제 6,002,840호에 설명된 바와 같은 트랙 상에 부착된 로봇이거나; SCARA(Selective Compliant Articulated Robot Arm) 로봇들; 개구리 다리(frog-leg) 로봇들; 선형적으로 미끄러지는(linear sliding) 팔 로봇들과; 각각 하나 이상의 엔드 이펙터들이나 기관 홀더들(예를 들어, 각각이 하나 이상의 기관들을 유지하고 있을 수 있는)을 가진 팔 하나 이상을 구비한 로봇 매니퓰레이터들이 있는, 4개의 바가 연결된(four bar-link) 로봇들이 포함될 수 있으나 그것에 제한되지는 않는, 어떠한 적합한 이송 로봇일 수도 있다. 다른 적합한 로봇들의 예시들은 다음의 것들에서 찾을 수 있으며 그것들 모두 참조에 의해 본 명세서에 그 전체 내용이 포함된다: 2005년 6월 9일자 출원된 미국 특허출원 제11/148,871호; 2005년 7월 11일자 출원된 미국 특허출원 제11/179,762호; 2008년 5월 8일자 출원된 미국 특허출원 제12/117,415호; 2008년 5월 8일자 출원된 미국 특허출원 제12/117,355호; 2011년 8월 26일자 출원된 미국 특허출원 제13/219,267호(현재 미국 특허 8,237,391호); 2011년 2월 18일자 출원된 미국 특허출원 제13/030,856호; 및 미국 특허 제8,008,884호; 제6,547,510호; 제5,813,823호; 제5,899,658호; 제5,720,590호; 및 제7,891,935호. 상기 소형 환경(660)은 복수의 적재 포트 모듈들 사이의 기관 이송을 위한, 제어되고 깨끗한 영역을 제공한다.

[0014] 상기 진공 로드 록(load lock)(610)은 상기 소형 환경(660)과 상기 백 엔드(620)에 연결되고 그것들 사이에 위치할 수 있다. 상기 로드 록(610)의 상기 기관 유지 챔버(substrate holding chamber)는 일반적으로 대기중(atmospheric)과 진공(vacuum)의 슬롯 밸브들을 포함한다. 상기 챔버의 각 슬롯 밸브는 상기 슬롯 밸브의 적합한 도어(door)를 통해 독립적으로 잠겨질 수 있을 것이다. 상기 슬롯 밸브들은, 상기 대기 중의 프론트 엔드(600)로부터 기관을 적재한 후에 상기 로드 록(610)을 배출하기 위해; 또 질소와 같은 비활성 기체와 함께 상기 로드 록을 배출(vent)할 때 상기 이송 챔버(transport chamber)(625)의 상기 진공을 유지하기 위해 사용되는 환경적 격리를 제공할 수 있다. 또한, 일 양상에서는 상기 로드 록(610)은, 처리에 바람직한 위치, 기관 버퍼(buffer)나 어떠한 다른 적합한 처리 장치에 대한, 상기 기관의 기준점을 정렬하기 위해 정렬자(aligner)를 포함할 수 있다. 상기 개시된 실시예의 다른 양상들에 있어서는, 상기 진공 로드 록은, 상기 처리 장치의 어떠한 적합한 위치에 놓여질 수 있고, 어떠한 적합한 기관 처리 장비를 포함하는 어떠한 적합한 구성을 구비할 수 있

다.

[0015] 상기 진공 백 엔드(620)는 일반적으로 이송 챔버(625), 하나 이상의 처리 스테이션(630)과 이송 로봇(도시되지 않음)을 포함한다. 상기 이송 로봇은 상기 로드 록(610)과 상기 다양한 처리 스테이션들(630) 사이에 기판들을 운반하기 위해 이송 챔버(625)의 내부에 위치할 수 있으며, 진공 환경에서 상기 로봇이 사용된다는 점을 제외하고는 상기 소형 환경(660)에 대해 위에서 설명된 이송 로봇과 실질적으로 유사하다. 상기 처리 스테이션들(630)은, 전기 회로 소자나 기판들 위에 원하는 다른 구조를 형성하기 위한, 다양한 증착(deposition), 식각(etching), 또는 다른 유형의 처리들을 통해 기판들 상에 작용(operate)할 수 있다. 전형적인 처리들은 다음을 포함하지만 그것들에 제한되지는 않는다: 플라즈마 식각(plasma etch)이나 다른 식각 처리들과 같이 진공을 사용하는 박막(thin film) 처리들, 화학 기상 증착(CVD, chemical vapor deposition), 플라즈마 기상 증착(PVD, plasma vapor deposition), 이온 주입과 같은 임플란테이션(implantation), 계측(metrology), 급속 열공정(RTP, rapid thermal processing), 건식 스트립 원자층 증착(ALD, atomic layer deposition), 산화/확산, 질소 화물들의 형성, 진공 리소그래피, 에피택시(EPI), 와이어 본딩(wire bonder) 및 증발 또는 진공 압력들을 사용할 수 있는 다른 박막 처리들. 상기 처리 스테이션들(630)은, 기판들이 상기 이송 챔버(625)로부터 상기 처리 스테이션(630)으로, 그리고 역으로 전달될 수 있도록 허용하기 위해, 상기 이송 챔버(625)에 연결된다.

[0016] 이제 도 2를 참조하면, 다른 섹션(section)들을 구비한 또다른 예시적인 기판 처리 툴(710)이 도시된다. 이 양상에서, 상기 처리 툴은, 툴 인터페이스부(tool interface section)(712)가 일반적으로 상기 이송 챔버(718t)의 세로 축(longitudinal axis)(X)으로 향하고 있으나(예를 들면, 안쪽으로), 그 중심선에서는 벗어나도록(offset), 상기 툴 인터페이스부(tool interface section)가 이송 챔버 모듈(718)에 장착된 선형적 처리 툴이다. 참조에 의해 본 명세서에 그 내용이 앞서 포함된 미국 특허출원 제11/442,511호에 설명된 바와 같이, 다른 이송 챔버 모듈들(718a, 718i, 718j)을 인터페이스들(750, 760, 770)에 부착하는 것에 의해, 상기 이송 챔버 모듈(718)은, 상기 이송 챔버(718t)의 길이를 연장하기 위한 어떠한 적합한 방향으로도 연장될 수 있다. 상기 인터페이스들(750, 760, 770)은 처리 툴(690)에 관하여 위에서 설명된 상기 로드 록과 실질적으로 유사하다. 각 이송 챔버 모듈(718, 719a, 718i, 718j)은, 상기 처리 시스템(710) 전체에 걸쳐서, 예를 들어, 처리 모듈들(PM) 안쪽으로 바깥쪽으로 기판들을 이송시키기 위해 적합한 기판 트랜스포트(transport)(780)를 포함한다. 일 양상에서 상기 트랜스포트(780)는 위에서 설명된 것들과 실질적으로 유사할 수 있다. 실현될 수 있는 바와 같이, 각 챔버 모듈은 격리되거나 제어된 대기(예: 깨끗한 공기, 진공)를 유지할 수 있을 것이다. 다른 양상들에서, 상기 이송 챔버 모듈들(718, 719a, 718i, 718j)은 본 명세서에서 설명된 바와 같은 상기 로드 록(610)의 특징들을 포함할 수 있다.

[0017] 이제 도 3a 내지 3d를 참조하면, 로봇 트랜스포트(robotic transport)의 엔드 이펙터 상의 기판의 예시적 이송 경로들이 상기 개시된 실시예의 양상들에 따라 도시된다. 실현될 수 있는 바와 같이, 이들 이송 경로들은 예를 들어, 위에서 설명된 상기 로봇 트랜스포트들과 같은 어떤 적합한 로봇 트랜스포트를 위한 것일 수 있다. 실현될 수 있는 바와 같이, 이 예시적 이송 경로들의 각각에 관한 상기 개시된 실시예들의 양상들에 따라, 시간 최적화 궤적이 생성될 수 있다. “경로(path)”라는 용어는 기판들 유지하는 위치들 사이의 3차원 공간에 걸친 상기 기판들의 물리적 이송 경로들을 뜻하는 것으로, 본 명세서에서 사용되고 상기 도면들에서 묘사되는 것을 유의하여야 한다. 상기 경로들은, 상기 경로를 형성하기 위해 서로 결합되는 하나 이상의 세그먼트(segment)를 포함할 수 있음을 주목하여야 한다. 상기 경로의 “궤적(trajectory)”이라는 용어는, 상기 기판 트랜스포트나 적어도 그것의 부분(예를 들어, 상기 엔드 이펙터, 팔(arm) 링크들, 구동 모터 등)의, 상기 이송 경로 상에서 이동할 때의 가속도, 속도 등과 같은 동역학적 속성들을 포함한다.

[0018] 도 3a에서 보여지는 바와 같이, 하나의 적합한 기판 이송 경로(300)는, 예를 들어, 각각의 세그먼트들이 실질적으로 직선이어서, 그 위에서 두 세그먼트들(300a, 300b)에 의해 형성된 직선 이송 경로를 따라 상기 기판이 움직이게 되는, 상기 두 세그먼트들(300a와 300b)을 갖는 직선 이송 경로일 수 있다. 도면 3b에 도시된 또다른 적합한 이송 경로(310)는, 상기 경로의 적어도 한 부분이 곡선형이거나 비선형일 수 있으며, 이때 세그먼트(310a)와 세그먼트(310b) 사이 상기 기판의 이동은, 세그먼트(310a)와 세그먼트(310b) 사이의 이동(transitioning)에 있어 실질적으로 매끄러운 곡선을 따르도록 블렌딩(blend)된다. 도 3c와 도 3d는, 서로 블렌딩(blend)되거나 블렌딩(blend)되지 않을 수 있는, 어떠한 적합한 숫자의 직선형 이송 세그먼트들 및/또는 곡선형의(즉, 비선형의) 이송 세그먼트들을 포함할 수 있는 합성 경로(compound path)들을 도시한다. 예를 들어, 도 3c는, 세그먼트(320a)와 세그먼트(320b)가 점(13)에서 만나고, 세그먼트(320b)와 세그먼트(320c)가 점(23)에서 만나는 3개의 세그먼트들을 가진 이송 경로(320)를 도시한다. 도 3d는, 각각 점(15)과 점(25)에서 결합되는 3개의 세그먼트(330a), 세그먼트(330b), 세그먼트(330c)를 가진 경로(330)를 도시한다. 그런데, 도 3d에서 세그먼트(330a)와

세그먼트(330b) 사이의 이동(transition)과 세그먼트(330b)와 세그먼트(330c) 사이의 이동은 어떠한 적합한 매끄러운 이동 곡선(transition curve)에 의해 블렌딩(blend)될 수 있다. 다른 양상들에서 실현될 수 있는 바와 같이, 상기 이송 경로들은, 어떠한 적합한 기관 유지 스테이션들(예를 들어, 시작(initial/starting)점과 종결(final/ending)점) 사이에서 기관들을 이송하기에 적합한 형태를 갖춘 어떤 경로를 형성하는 하나 이상의 세그먼트를 포함하는, 어떤 적합한 이송 경로들이 될 수 있다. 상기 경로는 어떠한 적합한 형태를 가질 수 있으며, 상기 경로에 따른 상기 궤적(예컨대, 동역학적 속성들)은 상기 경로에 대한 선형 관성계에서 확립될 수 있다. 실현될 수 있는 바와 같이 상기 이송 경로들은, 상기 경로의 상기 시작점과 종결점 사이의 최적의 경로를 형성하기 위하여 결합 및/또는 블렌딩(blend)된 어떤 적합한 수의 경로들 세그먼트들을 포함하는, 2차원적이거나 3차원적인 이송 경로들이 될 수 있다.

[0019] 위에서 설명된 바와 같이, 로봇 트랜스포트 구동(robotic transport drive)의 최대 동력을 사용하는 상기 로봇 트랜스포트(robotic transport)의 적어도 한 부분(상기 엔드 이펙터와 같은)의, 시간 최적화 동작들을 생성하기 위하여, 컨트롤러(691)와 같은 어떠한 적합한 컨트롤러가 뱅뱅 컨트롤러로 구성될 수 있다. 상기 개시된 실시예의 상기 양상들은, 예컨대, 높은 페이로드 응용(application)들이나 어떠한 다른 적합한 페이로드 응용들을 위한, 모터 토크(예를 들어, 최대 토크/피크 토크) 및/또는 기관 가속도의 제한을 갖는, 비파라미터화된 다른 기관 이송 궤적들의 생성을 허용함을 유의하여야 한다. 상기 생성된 궤적들에 관하여 본 명세서에서 사용된 “비파라미터화된(unparameterized)”이라는 용어는, 상기 궤적들이, 시간 최적화 궤적의 형태가 가용 최대 모터 토크(예컨대, 상기 모터 제작사에 의해 구체화된 상기 최대 토크), 최대 기관 가속도 한계(예컨대, 상기 로봇 매니퓰레이터의 기관 홀더 상의 미끄러짐이 시작될 수 있는 점), 및/또는 최대 속력 한계의 상기 언급된 제한들 내에서 성취될 수 있도록 하는, 상기 궤적의 곡선이나 형태에 따라 제한되지 않음을 의미한다. 최적의(가장 짧은) 이동 시간들(예를 들어 시작점과 종결점 사이의 기관 이송 시간들)이, 주어진 최대 구동 토크 제한들에 대해 성취되도록 하는 상기 경로 세그먼트들 각각에 대한 궤적들이 상기 개시된 실시예들의 상기 양상들에 따라 생성될 수 있다. 더욱이, 모터들이나 하모닉 기어 박스(harmonic gear box)들과 같은 구동 구성요소에 대한 피크 토크 요구량은 감소될 수 있으므로, 상기 로봇 트랜스포트(robotic transport)와 관해 더 낮은 비용, 상기 로봇 트랜스포트의 크기 감소 및/또는 상기 로봇 트랜스포트의 수명 증가의 결과를 이룰 수 있다. 상기 개시된 실시예의 상기 양상들은, 일반적으로 토크 제한들을 고려에 넣지 않거나 매끄럽게 제어된 궤적을 일반적으로 생산하지 않는, 현존하는 궤적 생성 방법들의 비효율성의 문제를 다룬다. 생성된 궤적들에 관하여 본 명세서에서 사용된 상기 “매끄러움(평탄함: smoothness)”이라는 용어는 시간에 대한 가속도의 연속성을 의미한다. 일반적으로 가속도의 불연속성은 실제로 성취될 수 없는 것이며, 현저한 트래킹 오차(tracking error)들뿐만 아니라, 예컨대, 상기 로봇 트랜스포트의 상기 팔(arm)의, 자연 진동(natural vibration) 모드들의 들뜸(excitation)에 있어 바람직하지 않은 결과를 초래할 수 있다.

[0020] 도 5a를 참조하면, 상기 개시된 실시예의 일 양상에 있어, 최소 시간에 상기 시스템의 상태를 변화시키도록 작동하는, 예컨대, 최대 가용 토크를 사용하는, 시간 최적화 궤적(토크-최적화된 궤적에 대해서와 같이 또한 언급될 수 있음)은 상기 기관 이송 경로(상기 이송 경로는 도 3c 및 3d에 도시된 것과 마찬가지로 세그먼트들의 한 세트 초과를 가질 수 있다)의 각 세그먼트에 대해 생성되는데, 이때 상기 시간 최적화 궤적은, (예컨대, 상기 위치-속도 관성계에서) 그 시작점으로부터 순방향 시간 최적화 궤적(550)의 적어도 하나의 부분을 생성하는 것(도면 5b, 블록 500)과; (예컨대, 상기 위치-속도 관성계에서) 그 종결점으로부터 역방향 시간 최적화 궤적(560)의 적어도 하나의 부분을 생성하는 것(도면 5b, 블록 510); 및 완전한(complete) 시간 최적화 궤적을 생성하기 위해 상기 순방향 궤적 및 역방향 궤적들을 결합하는 것에 의해 구해될 수 있다. 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들의 부분들은 어떠한 적합한 순서에 의해서도 생성될 수 있으며, 상기 열거된 순서에 의할 필요는 없음을 유의하여야 한다. 또한, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들은, 예를 들어, 본 명세서에 설명된 상기 모터 토크, 기관 가속도 및/또는 속도 제한들에 기초한, 최적화된 어떠한 적합한 궤적들도 될 수 있음을 유의하여야 한다. 다른 양상들에 있어서는 완전한(complete) 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들이 생성될 수 있는 반면, 일 양상에서는, 각각의 시작점들과 종결점들 사이의 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들의 부분들과 상기 궤적의 정점만 생성될 수 있다. 상기 개시된 실시예의 양상들은 상기 순방향 궤적 상의 점과 상기 역방향 궤적 상의 점을 평탄화 “브릿지(bridge)” 세그먼트가 연결하도록 하는 상기 순방향 및 역방향 궤적들의 결합(combination)을 제공한다. 이 브릿지 세그먼트(570)의 시간 경과(time duration)는, 상기 브릿지 세그먼트가 그 끝점(endpoint)들 상에서 가속도의 연속성 조건을 만족하도록, 상기 속도의 역수를 위치에 대해 적분한 것과 같은, 어떤 적합한 방법에 의해 구해될 수 있다. 하나의 양상에서, 상기 평탄화(smoothing) 브릿지(570)는 상기 순방향 및 역방향 궤적들(550, 560) 사이의 불연속성을 실질적으로 제거하는 수학적 블렌딩(blending) 알고리즘(algorithm)이다. 하나의 양상에서 상기 평탄화 브릿지(570)은 수학적으로 상기 위치-속도

관성계 상의 2차 베지어 곡선일 수 있지만, 다른 양상들에서는 상기 평탄화 브릿지(570)는 예를 들어, 3차 베지어 곡선이나 큐빅 스플라인(cubic spline)과 같은 적절한 곡선 또는 둥글게 하는 데 쓰이는(rounding) 접근법일 수 있다고 이해되어야 한다. 예시로 든 상기 베지어 곡선과 같은 상기 평탄화 곡선(570)은 상기 순방향 및 역방향 궤적들 사이의 수치적 해법을 통해 피팅(fit)되고, 스플라인(spline)되는 알고리즘일 수 있다.

[0021] 도 4를 참조하면, 기관 이송 시간을 최소화시키는 “사다리꼴 속도 프로파일(trapezoidal velocity profile)” 및 “S-곡선 프로파일(S-curve profile)”을 볼 수 있다. 이 플롯들은 상기 로봇 팔 구동 모터에서 제어된(commanded) 속도에 관한, 시간 대비 속도 곡선들을 보여준다. 그런데, 상기 개시된 실시예의 양상들에 따라 생성된 상기 궤적들과 비교할 때에는 상기 사다리꼴 속도 프로파일 및 S-곡선 프로파일은 시간-최적이 아니다. 도 4에서 보여지는 것과 마찬가지로, 상기 궤적을 생성할 때 최대 가용 동력이 사용되지 않게 되는, 속도가(따라서 가속도가) 일정한, 상기 S-곡선과 사다리꼴 곡선들의 부분들이 있다.

[0022] 다시 도 5a를 참조하면, 상기 개시된 실시예의 양상들에 따라 생성된 궤적의 예시적인 도시를 볼 수 있다. 한정하지 않는 예시적인 목적으로만 설명하자면, 상기 동작(motion) 프로파일들은, SCARA 팔(arm) 로봇 매니퓰레이터의 반경 방향의 확장 동작을 위해 생성된다. 다시금 한정하지 않는 예시적인 목적으로만 설명하자면, 이 예시에서는 상기 궤적은 최대 R-모터(예컨대, 반경 방향 확장 모터)의 약 5Nm의 토크 한계 및 약 0.3g의 최대 기관 가속도 한계에 의해 제한된다. 약 400mm의 상기 로봇 팔의 반경 방향의 확장은 도 5a에서 고려되어 있다.

[0023] 도 5a는, 위치-속도 관성계에서의, 예컨대, 도 7a 내지 7c(아래에서 설명됨)의 최적화 궤적을 도시한다. 도 5a에서 나타난 바와 같이 상기 순방향 궤적 세그먼트(550), 상기 역방향 궤적 세그먼트 및 상기 브릿지(bridging) 세그먼트(570)가 보여진다. 하나의 양상에 있어서, 상기 브릿지 세그먼트(570)가 상기 순방향 및 역방향 궤적 세그먼트들(550, 560)과 접촉하는 점들 또는 접촉하는 인터페이스들(10, 20) 각각의 위에서 상기 브릿지(bridging) 세그먼트(570)는 상기 순방향 및 역방향 궤적 세그먼트들(550, 560)의 각 하나와 실질적으로 동일한 접선(tangent) 및 폭(amplitude)을 갖는다.

[0024] 위에서 설명한 바와 같이 하나의 양상에서, 상기 브릿지(bridging or bridge) 세그먼트(570)는, a가 상기 순방향 및 역방향 궤적들(550, 560)의 점들(10, 20) 상에서의 접선들의 교점으로 정의될 때, 위치 p와 속도 v를 점들(10, 20 및 a) 상의 위치와 속도로 표현하여 정의된, 2차 베지어 곡선으로서 정의될 수 있다(그러나 다른 양상들에서는 상기 브릿지 세그먼트는 어떤 적합한 방법에 의해, 어떠한 적합한, 예를 들어 3차 베지어 곡선과 같은 곡선으로 정의될 수 있다). 하나의 양상에서 상기 위치 p와 속도 v는 다음과 같이 정의될 수 있다:

$$p(\tau)=p_1(1-\tau)^2+2p_a(1-\tau)\tau+p_2\tau^2 \quad [1]$$

$$v(\tau)=v_1(1-\tau)^2+2v_a(1-\tau)\tau+v_2\tau^2 \quad [2]$$

[0027] 단, 여기서 파라미터 τ 는 0에서 1까지 변화한다. 시간의 진행(progression)은 상기 파라미터의 함수로 구해질 수 있으며 다음과 같다:

$$t(\tau)=\int_0^\tau \frac{dp}{d\tau} \frac{1}{v} d\tau \quad [3]$$

[0029] 상기 점들(10, 20)은, 상기 브릿지 세그먼트 위의 모든 점들에서의 상기 궤적 곡선의 특성들(예를 들어, 속도, 속도의 변화 및 속도의 변화율)이, 상기 대응되는 점들(10, 20)로부터 순방향 및 역방향 각각으로 연장함에 따라, 상기 순방향 및 역방향 세그먼트들의, 대응되는 특성들과 같거나 그보다 낮아지도록 선택되었음을 유의하여야 한다(예를 들어, 도 5a를 보면, 상기 브릿지 세그먼트는 점(a)에서 교차하는 상기 순방향 및 역방향 궤적들 각각의 상기 연장(extension)들 아래에 남게 되며, 기울기와 기울기의 변화와 같은 상기 브릿지 세그먼트의 관련된 특성들은, 대응하는 점들(10, 20)에서 각 연장(extension)들의 비교가능한 특성들 미만이다). 상기 브릿지 세그먼트를 형성하는 상기 곡선은 시작점과 종결점들의 변경 없이 위 속도 조건의 만족을 허용하는 어떠한 적합한 숫자의 자유도(degrees of freedom)를 제공할 수 있다. 상기 개시된 실시예의 양상들이, 상기 기관 홀더의 선형적 반경 방향 동작(linear radial motion)에 관하여 도시될 수 있는 반면, 상기 개시된 실시예의 상기 양상들은 비선형적 경로들을 따르는 동작에 확장될 수 있는 것으로 이해하여야 함을 다시금 유의해야 한다. 상기 개시된 실시예들의 상기 양상들은, 주어진 궤적에 있어 매끄럽게 되기 위해 필요한, 복수의 코너 점(corner

point)들에도 또한 적용될 수 있을 것이다. 예를 들어, 도c를 참조하면, 궤적의 곡선(573)(예컨대, 순방향 궤적이나 역방향 궤적 중 하나로서 생성됨)의 중심 영역(central region)이 예를 들어 상기 궤적의 이 영역 내 속도의 제한으로 인하여 감소된 속도를 가지는 시간 최적화 상기 궤적이 보여진다. 이 양상에서는, 상기 개시된 실시예들의 양상들에 따라 매끄럽게 될(smoothed), 두개의 점들(a, b)이 있다. 여기서 상기 순방향 궤적(551)은 각 시작점으로부터, 위에서 설명한 것과 실질적으로 비슷한 방법으로 생성된다. 상기 역방향 궤적(563)은 마찬가지로 각 종결점으로부터, 위에서 설명한 것과 실질적으로 비슷한 방법으로 생성된다. 또한, 다른 양상들에서는 상기 궤적 곡선(573)이 오목한 형태나 기울기를 가지는 것으로 보여지는 반면, 상기 궤적이, 궤적들(551, 563)과 교차하는 상기 궤적 곡선(573')의 부분들은 볼록한 기울기를 가지고 궤적 곡선(573')의 중앙 부분은 오목한 기울기를 가지는, 도 5d(궤적 573' 참조)에서 보여지는 바와 같은, 볼록한 기울기나 오목하고 볼록한 기울기의 조합을 가질 수도 있음을 유의하여야 한다. 상기 점들(a 및 b)은, 브릿지 세그먼트들(571, 572)에 대응하는 각 궤적 곡선들의 특성들(예를 들어, 속도, 속도의 변화 및 속도의 변화율)이, 상기 브릿지 세그먼트의 모든 점 위에서, 상기 대응하는 점들(10, 20, 30, 40)로부터 순방향 및 역방향으로 각각 연장함에 따라 상기 순방향 및 역방향 세그먼트들의 대응되는 특성들 이하이도록(도 5a, 5c, 및 5d에서 보여지는 바와 같은), 위에서 설명한 것과 실질적으로 비슷한 방법으로 연결(bridge)된다(예를 들어, 도 5c 및 5d를 보면, 상기 브릿지 세그먼트들은 점(a)과 점(b)에서 교차하는 상기 순방향 및 역방향 궤적들의 연장(extension)들 아래에서 남게되며, 기울기 및 기울기의 변화와 같은 상기 브릿지 세그먼트들의 관련된 특성들은 대응되는 점들(10, 20, 30, 40)에서 각각의 연장들의 비교가능한 특성들의 미만이다).

[0030] 도 6a는 상기 브릿지 세그먼트를 포함하거나 포함하지 않는 최적의 궤적에 있어서의 모터 토크의 비교를 도시하는 예시적인 그래프이다. 도 6b는 상기 브릿지 세그먼트를 포함하거나 포함하지 않는 상기 궤적 내에서 기관 홀더의 가속도의 비교를 도시하는 예시적인 그래프이다.

[0031] 이제 도 7a 내지 7c를 참조하면, 도 7a는, 상기 기관 홀더가 상기 로봇 매니퓰레이터의 팔에 연결되어 있을 때, 상기 엔드 이펙터나 상기 기관 홀더의 움직임(SCARA 유형 로봇 팔에 연결된 기관 홀더를 도시하고 있는 도 2를 참조)을 위해 생성된 표준 S-곡선 궤적(또한 도 4를 참조)을, 상기 개시된 실시예의 양상에 따라 시간-최적화된 궤적을 사용한 상기 기관 가속도 프로파일들과 비교한다. 도 7b에 상기 두개의 궤적들(예컨대, 상기 시간 최적화 궤적 및 상기 S-곡선 궤적)에 대한 모터 토크들이 보여진다. 도 7a와 7b에서 보여지는 바와 같이 상기 시간 최적화 궤적은 그 가용 모터 토크를 최선으로 활용하는데, 상기 시간 최적화 궤적의 이동 시간(move time)은 상기 표준 S-곡선 궤적의 이동 시간에 비하여 약 25퍼센트 적다. 그것으로서, 도 7a와 7b에 도시된 상기 궤적은, 최적화된 토크를 포함하는 시간 최적화 궤적으로 여겨질 수 있다. 도 7c는 그 이동 시간(move time)들이 실질적으로 동일하도록 각 궤적이 생성될 때, 상기 시간-최적화된 궤적과 상기 표준 S-곡선 궤적을 비교한다. 도 7c에서 보여지는 바와 같이, 실질적으로 동일한 이동 시간에 대해, 상기 시간 최적화 궤적은 상기 기관 홀더 동작을 위해 생성된 상기 표준 S-곡선 궤적에 비해 50% 낮은 토크를 요구한다.

[0032] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따라, 적어도 하나의 경로 세그먼트를 포함하는 이송 경로를 가지는 로봇 매니퓰레이터를 위해 시간 최적화 궤적 생성 방법이 제공된다. 상기 방법은, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점을 향하여 이어진 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따르는, 로봇 매니퓰레이터의 순방향 시간 최적화 궤적을 생성하고; 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점을 향하여 이어진 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따르는, 상기 매니퓰레이터의 역방향 시간 최적화 궤적을 생성하고; 위치-속도 관성계 상에서, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들 사이에 실질적으로 불연속성이 없도록 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들을 결합하는 평탄화(smoothing) 브릿지와 함께 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 상기 순방향 및 역방향 궤적들이 함께 블렌딩(blend)된 완전한(complete) 시간 최적화 궤적을 얻기 위하여, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들을 결합하는 것을 포함한다.

[0033] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 완전한(complete) 시간 최적화 궤적은 비과라미터화된다.

[0034] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따라, 적어도 하나의 상기 시간 최적화 순방향 및 역방향 궤적은 상기 로봇 매니퓰레이터의 최대 모터 토크에 의해 한정된다.

[0035] 상기 개시된 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 평탄화 브릿지(bridge)는, 상기 평탄화 브릿지의 각 끝점(end point)들에서, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들 각각에 연결되며, 이때 상기 위치-속도 관성계에서, 상기 평탄화 브릿지의 각 끝점들은, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들 중 각각의 하나와, 상기 각 끝

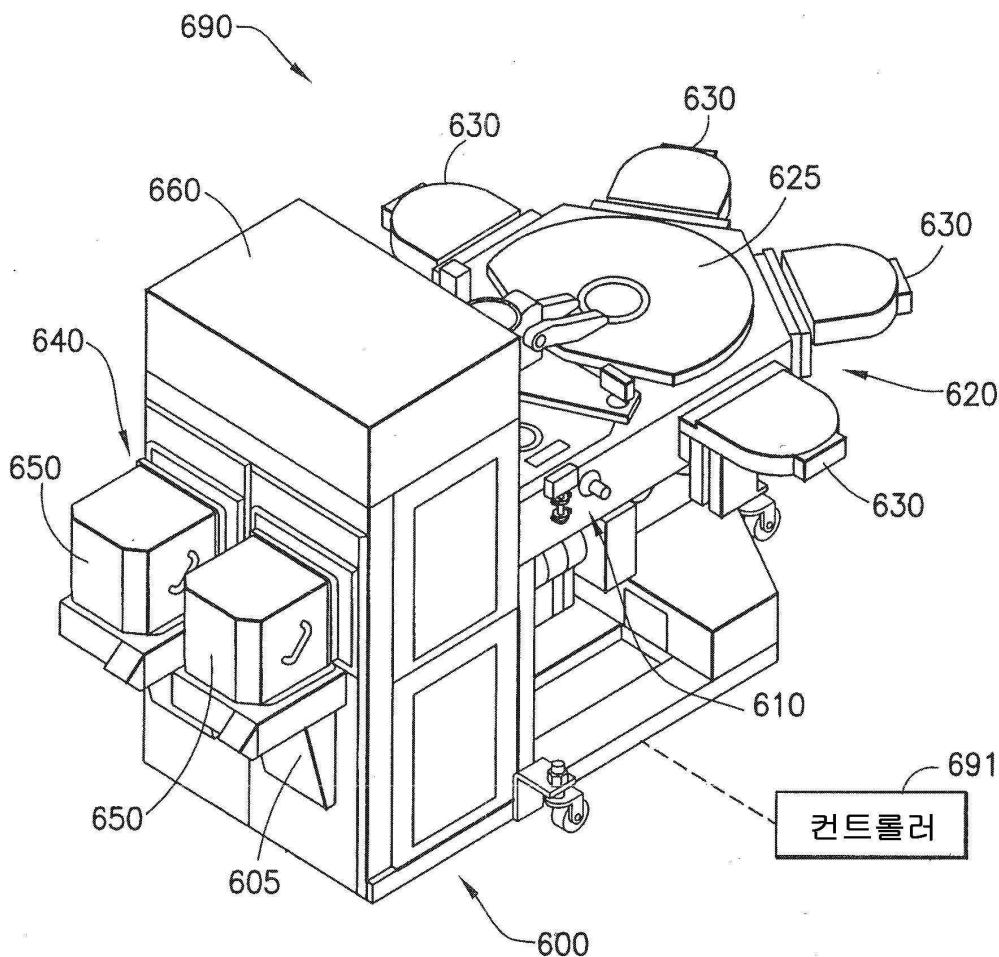
점들 위에서 정접(tangent)하도록 한다. 하나 이상의 양상들에 따라, 상기 평탄화 브릿지의 모든 점 위에서의, 상기 평탄화 브릿지의 궤적의 특성들이, 각 끝점들로부터 각각 순방향 및 역방향으로 연장됨에 따라, 상기 순방향 및 역방향 궤적들의 대응되는 특성들과 같거나 그보다 낮아지게 된다.

- [0036] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 완전한(complete) 시간 최적화 궤적은 상기 이송 경로에 실질적으로 독립된다.
- [0037] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 이송 경로 상의 가속도는, 상기 순방향 시간 최적화 궤적, 상기 역방향 시간 최적화 궤적 및 상기 평탄화 브릿지들 위에서 및 그것들 사이에서 실질적으로 연속(continuous)이다.
- [0038] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 평탄화(smoothing) 브릿지는, 상기 순방향 및 역방향 궤적들 사이의 곡선을 피팅(fit)하는 수치 해법이다. 하나의 양상에 있어서, 상기 평탄화(smoothing) 브릿지는 2차 베지어 곡선, 3차 베지어 곡선이나 큐빅 스플라인(cubic spline)을 포함한다.
- [0039] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따라, 적어도 하나 이상의 경로 세그먼트들 각각에 대하여, 각 평탄화 브릿지를 포함하는 각 완전한(complete) 시간 최적화 궤적이 생성된다.
- [0040] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 방법은, 평탄화(smoothing) 브릿지와 함께 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 인접한 경로 세그먼트들의 끝점들을 블렌딩(blend)하는 것을 더 포함한다.
- [0041] 상기 개시된 하나 이상의 양상들에 따라, 기판 처리 툴(substrate processing tool)이 제공된다. 상기 기판 처리 툴은 적어도 하나의 경로 세그먼트를 가지는 이송 경로를 따라 이동하는 기판 홀더가 포함된 로봇 매니퓰레이터와, 상기 로봇 매니퓰레이터에 연결된 컨트롤러를 포함한다. 상기 컨트롤러는, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점을 향하여 이어진 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따르는, 로봇 매니퓰레이터의 순방향 시간 최적화 궤적을 생성하고; 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 종결점으로부터 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 시작점을 향하여 이어진 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트를 따르는, 상기 매니퓰레이터의 역방향 시간 최적화 궤적을 생성하고; 위치-속도 관성계 상에서, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들 사이에 실질적으로 불연속성이 없도록 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들을 결합하는 평탄화(smoothing) 브릿지와 함께 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트의 상기 순방향 및 역방향 궤적들이 함께 블렌딩(blend)된 완전한(complete) 시간 최적화 궤적을 얻기 위하여, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들을 결합하도록 구성된다.
- [0042] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 완전한(complete) 시간 최적화 궤적은 비파라미터화(unparametrized)된다.
- [0043] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 적어도 하나의 시간 최적화 순방향 및 역방향 궤적은 상기 로봇 매니퓰레이터의 최대 모터 토크에 의해 한정된다.
- [0044] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 평탄화(smoothing) 브릿지(bridge)를, 상기 평탄화 브릿지의 각 끝점(end point)들에서, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들 각각에 연결하는 것으로 상기 컨트롤러가 구성되는데, 이때 상기 위치-속도 관성계에서, 상기 평탄화 브릿지의 각 끝점들은, 상기 순방향 및 역방향 시간 최적화 궤적들 중 각각의 하나와, 상기 각 끝점들 위에서 정접(tangent)하도록 한다. 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 각 끝점들로부터 순방향 및 역방향 각각으로 연장함에 따라, 상기 평탄화 브릿지 위 모든 점들에서의 상기 평탄화 브릿지의 궤적의 특성들은, 이에 대응되는 상기 순방향 및 역방향 궤적들의 특성들과 같거나 그보다 낮아지게 된다.
- [0045] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 이송 경로 상의 가속도는, 상기 순방향 시간 최적화 궤적, 상기 역방향 시간 최적화 궤적 및 상기 평탄화(smoothing) 브릿지에 대해서 및 그것들 사이에 대해서 실질적으로 연속이다.
- [0046] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 평탄화(smoothing) 브릿지는 2차 베지어 곡선, 3차 베지어 곡선 또는 큐빅 스플라인(cubic spline)을 포함한다.
- [0047] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트들의 각각에 대한 각 평탄화(smoothing) 브릿지를 포함하는 완전한(complete) 시간 최적화 궤적을 생성하도록 상기 컨트롤러가 구성된다.

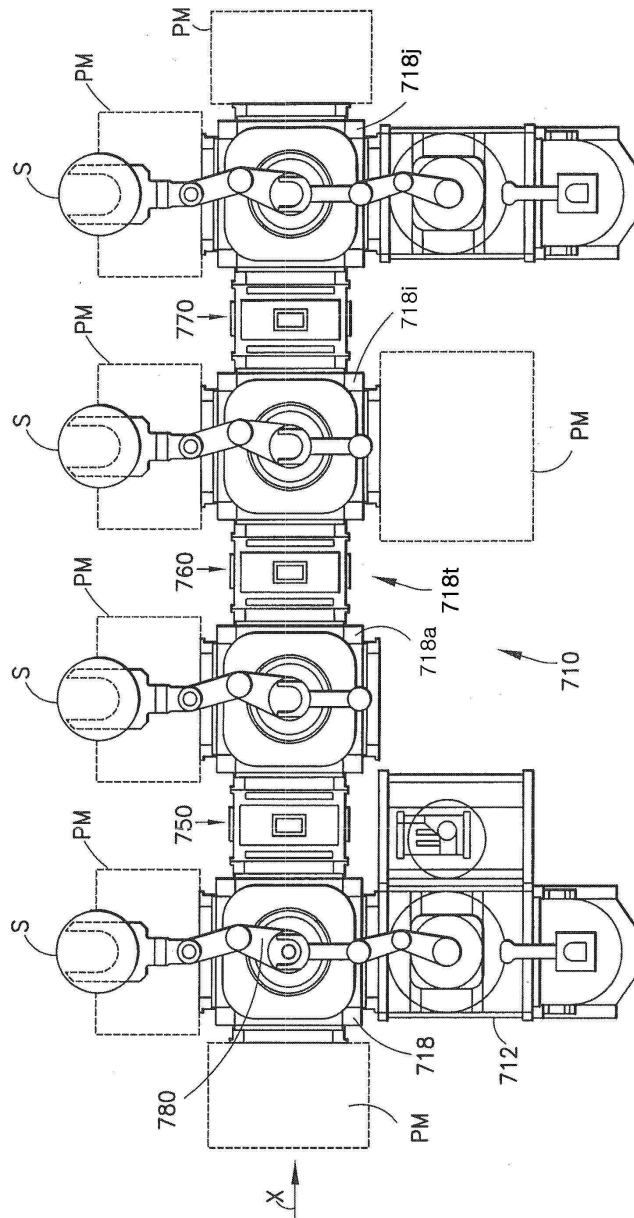
- [0048] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상에 따르면, 상기 적어도 하나의 경로 세그먼트에 인접한 경로 세그먼트들의 끝점들을 평탄화(smoothing) 브릿지와 블렌딩(blend)하도록 상기 컨트롤러가 더 구성된다.
- [0049] 상기 개시된 실시예의 하나 이상의 양상들에 따르면, 상기 완전한(complete) 시간 최적화 궤적은 상기 이송 경로와 실질적으로 독립된다.
- [0050] 상기 개시된 실시예들의 상기 양상들은, 개별적으로나, 어떠한 그것들의 조합으로, 사용될 수 있다는 것을 유의해야 한다. 또한, 상기 전술한 설명은 상기 개시된 실시예의 상기 양상들을 설명하기 위한 것일 뿐이라는 점이 이해되어야 한다. 상기 개시된 실시예의 상기 양상들로부터 이탈됨이 없이 다양한 대체들 및 수정들이 당업자에 의해 고안될 수 있다. 이에 따라, 상기 개시된 실시예의 상기 양상들은 첨부된 청구항들의 범위 내에 속하는 모든 그러한, 대안들, 수정들 및 변형들을 포함하는 것으로 의도된다. 더욱이, 단지, 상이한 특징들이 서로 상이한 독립항이나 종속항들에 언급되어 있다는 사실이, 본 발명의 상기 양상들의 범위 내에 속하는 조합인 경우 상기 특징들의 그러한 조합이, 유리하게 사용될 수 없다는 것을 의미하지 않는다.

도면

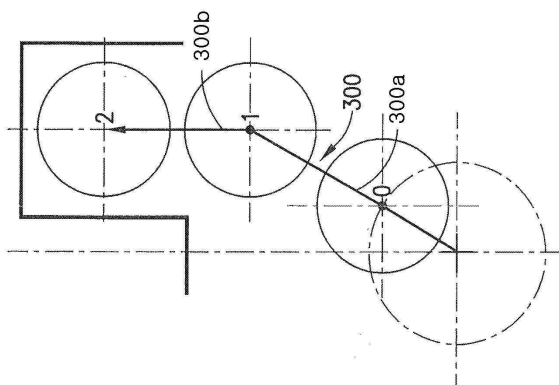
도면1



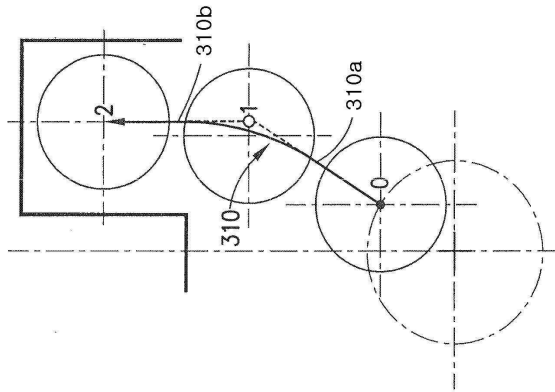
도면2



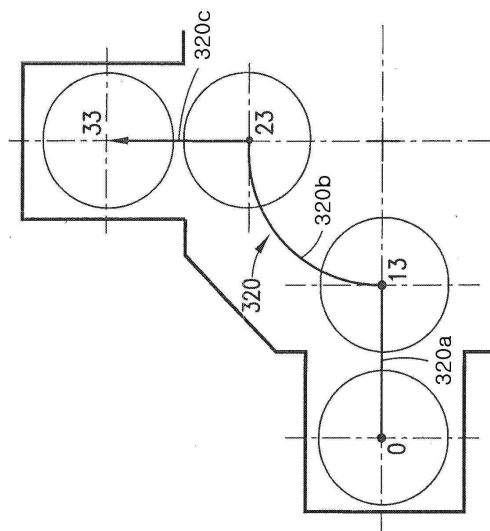
도면3a



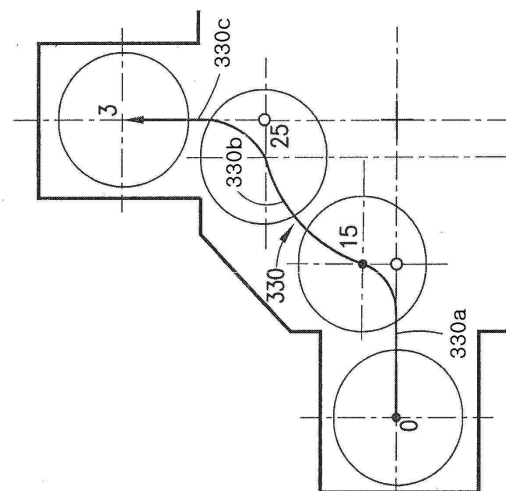
도면3b



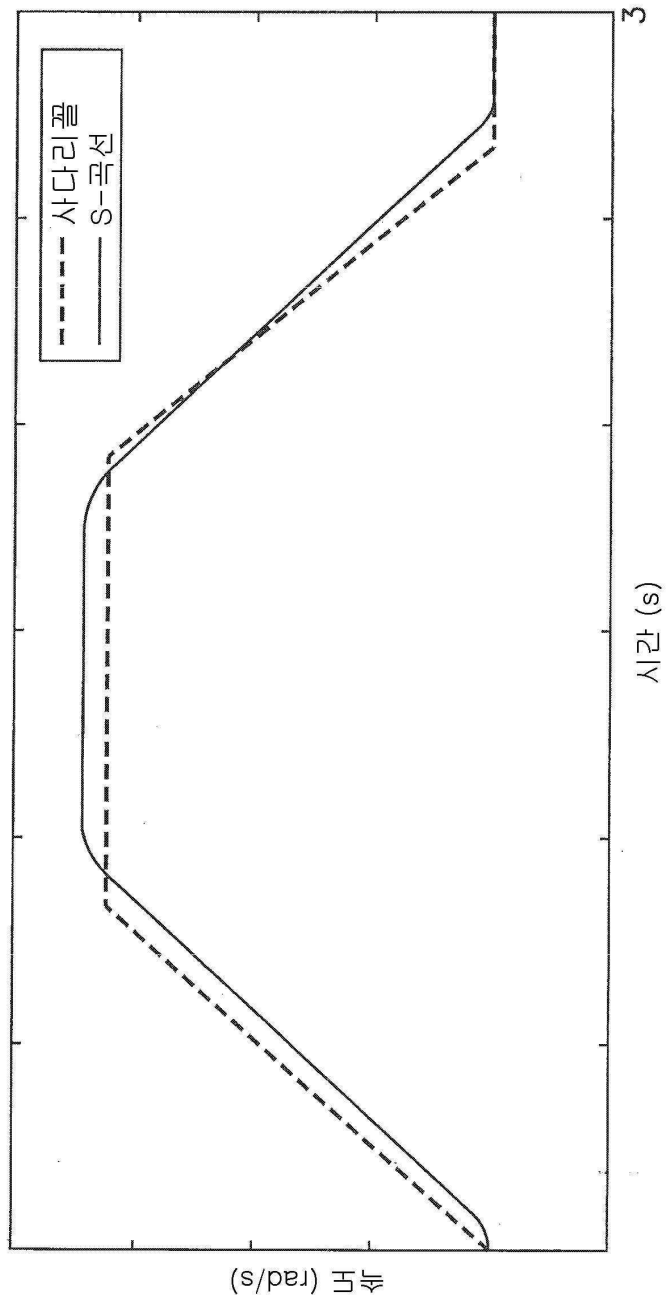
도면3c



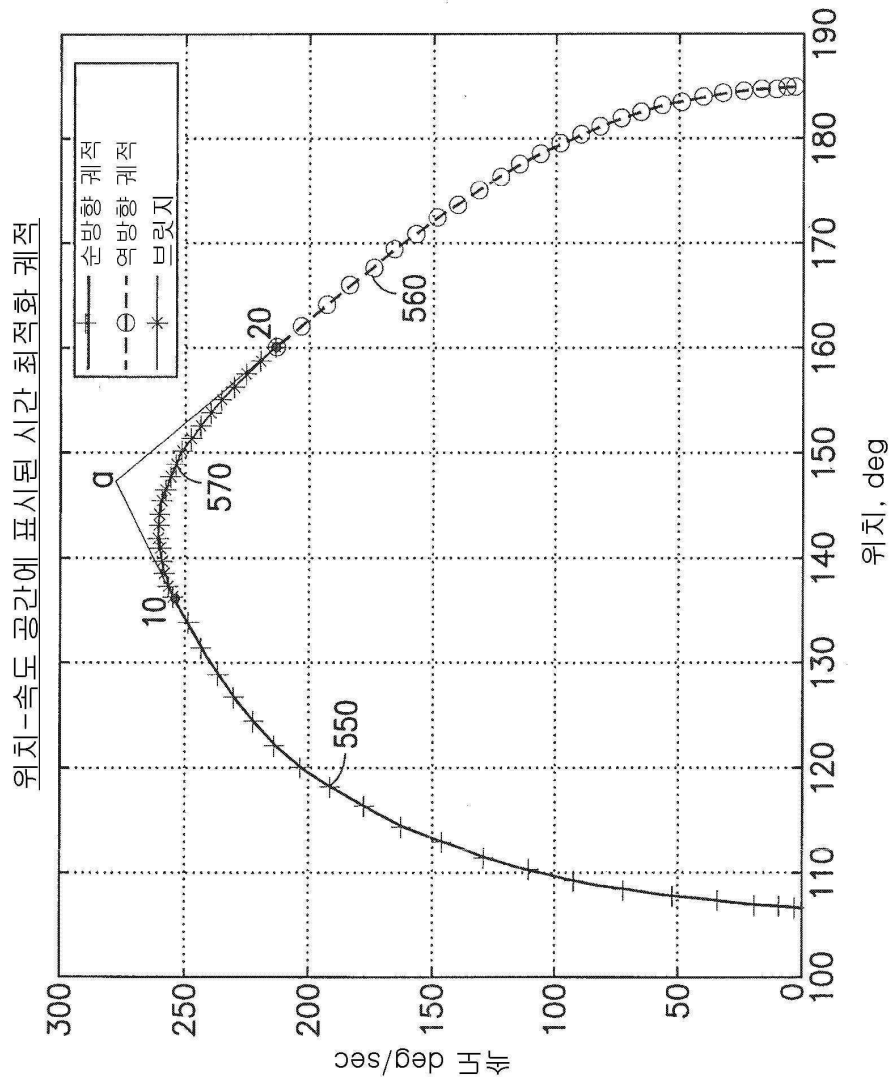
도면3d



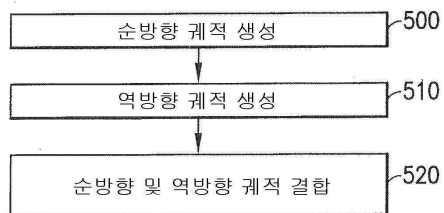
도면4



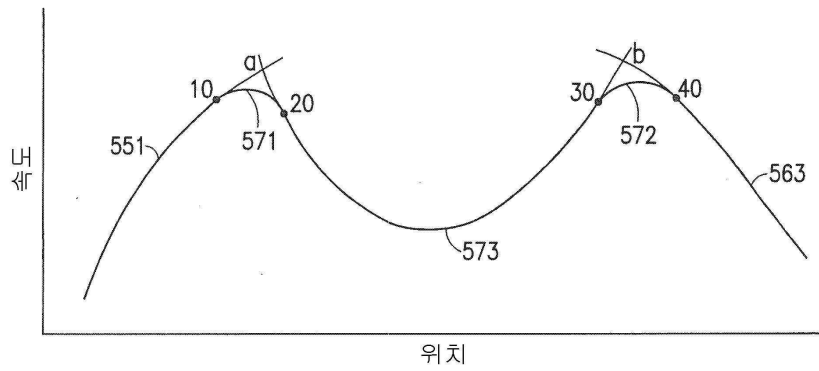
도면5a



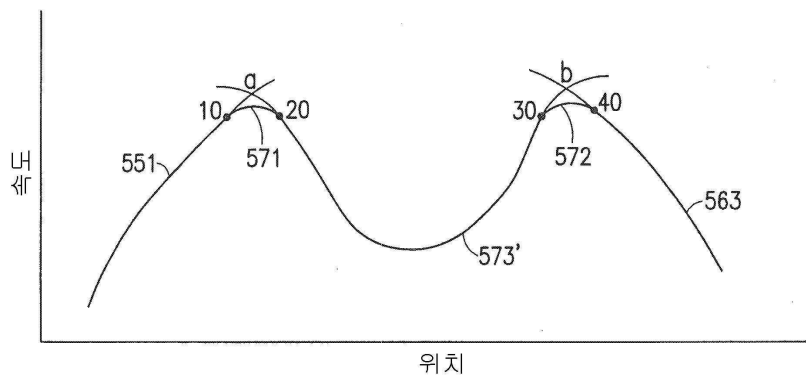
도면5b



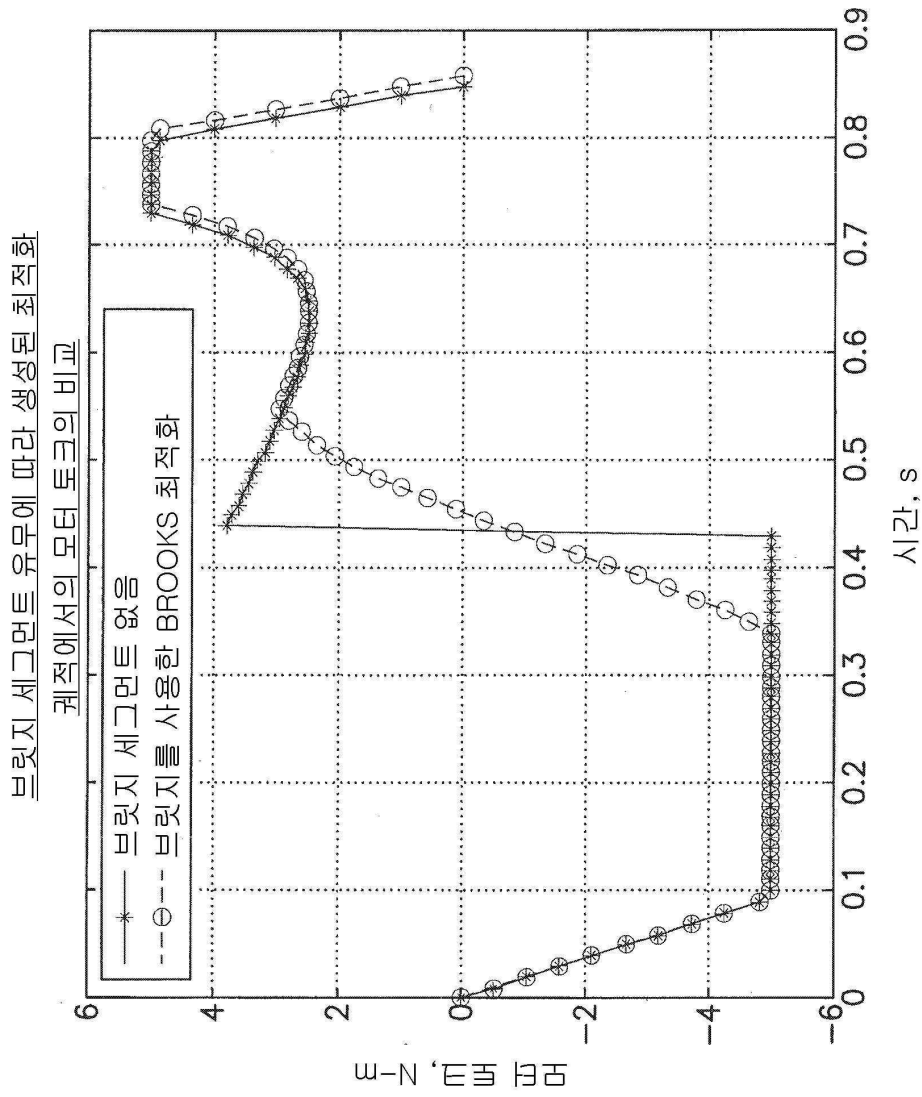
도면5c



도면5d

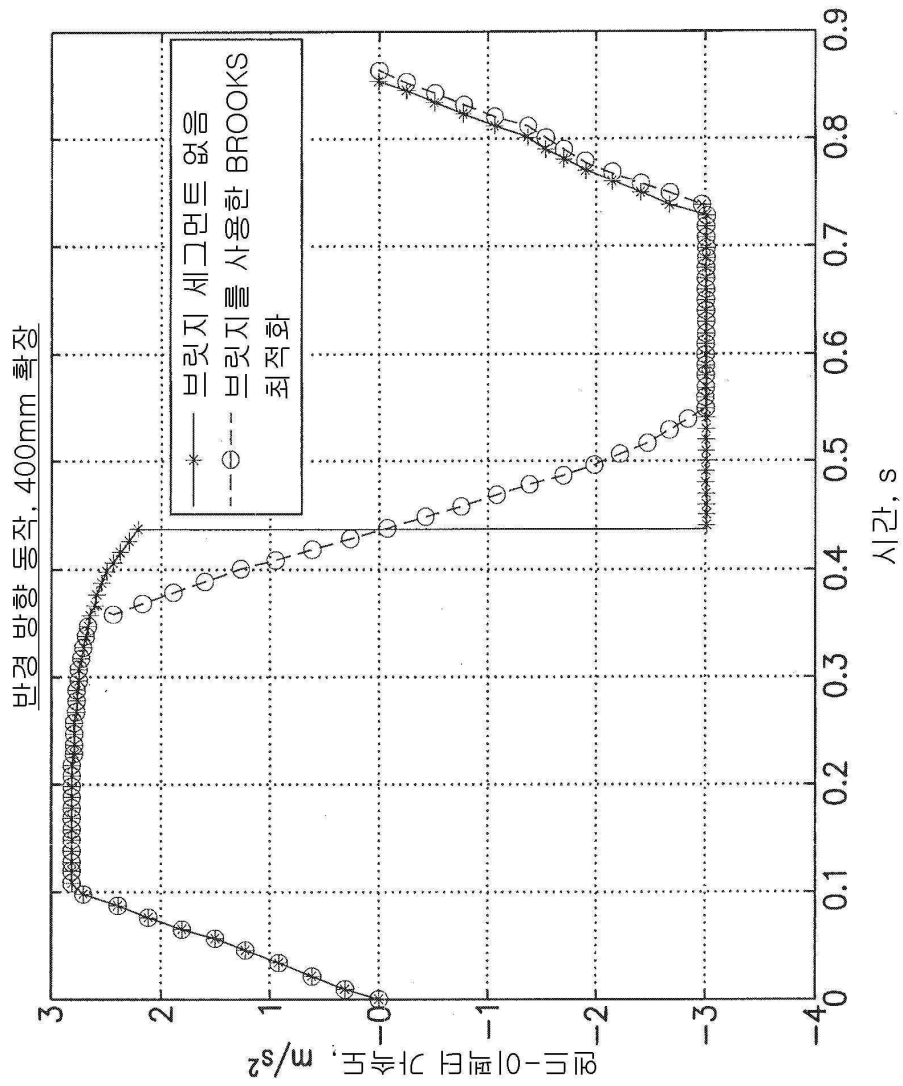


도면6a



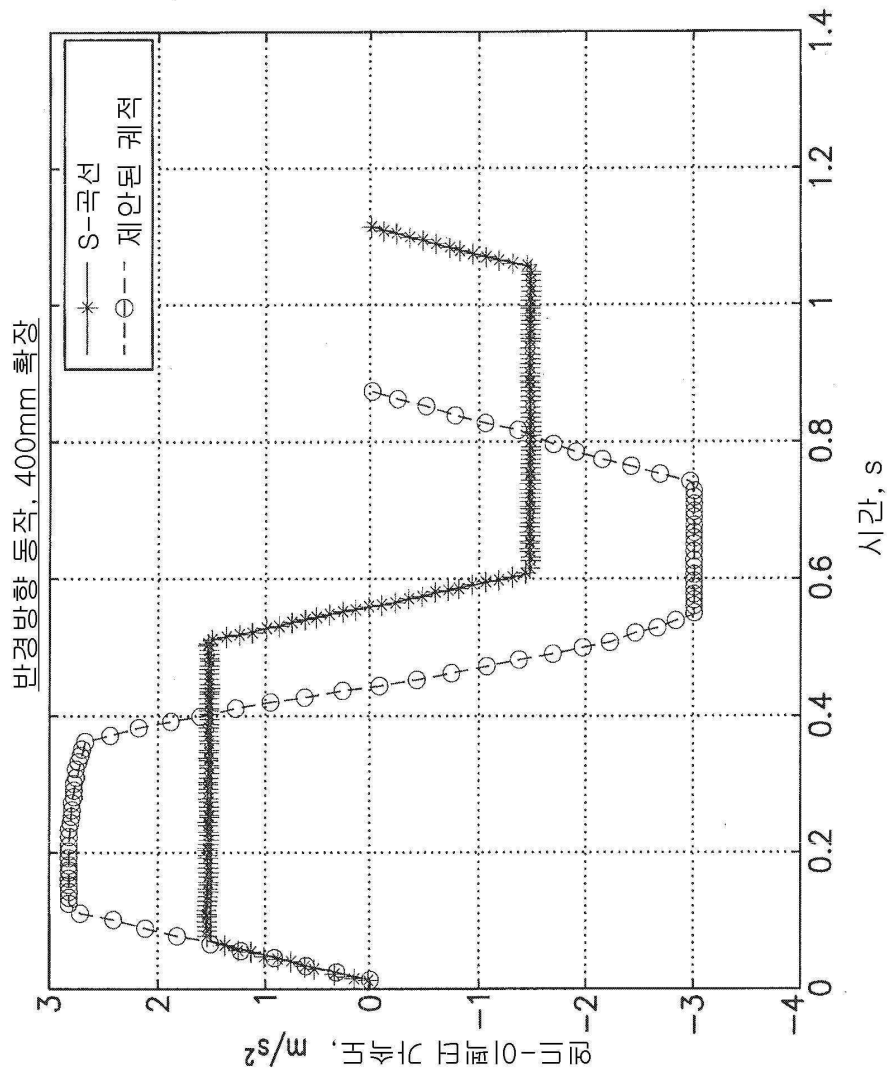
도면6b

브릿지 세그먼트 유무에 따라 생성된 궤적에서의
엔드-이펙터 가속도 프로파일의 비교



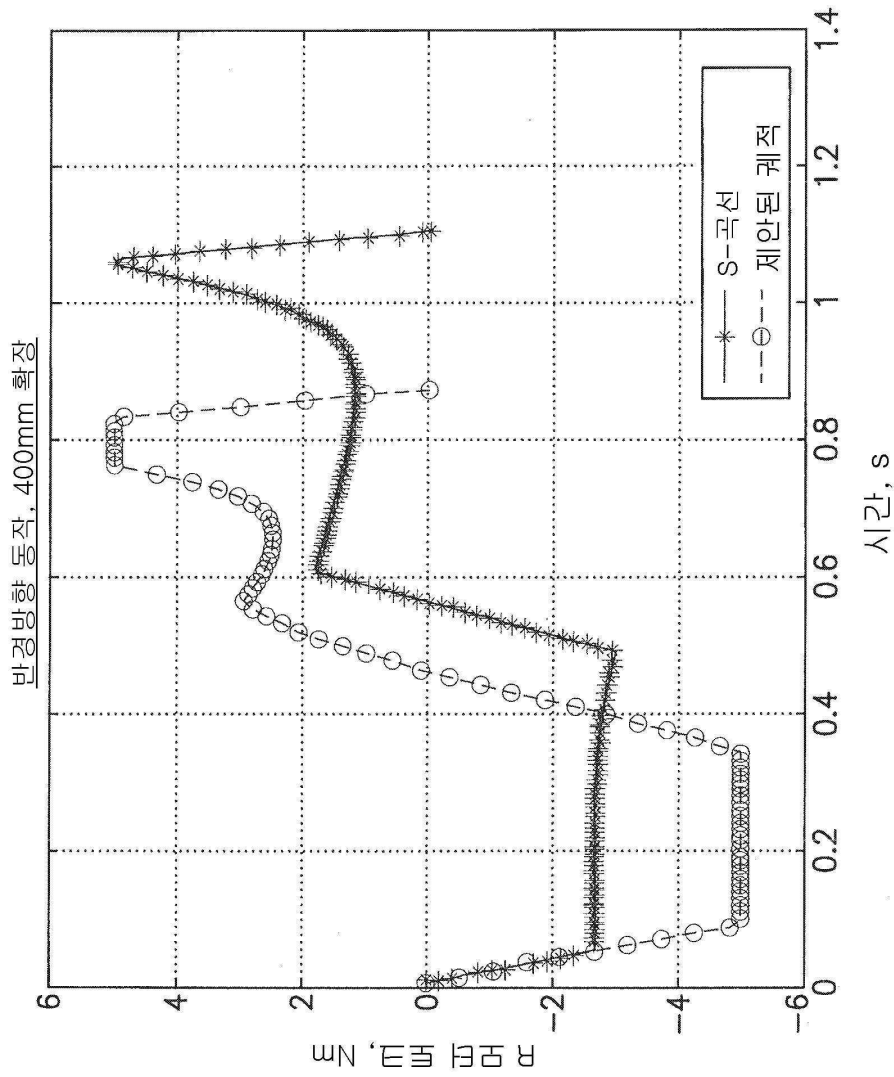
도면7a

양 계적 모두 5Nm 와 0.3g 제한들을 만족하는 표준 S-곡선 계적
및 제안된 토크-최적화 계적을 표시하는 400mm 반경방향
동작에 있어 기관 가속도의 플롯들



도면7b

표준 S-곡선 궤적 및 제한된 토크-최적화 궤적을 표시하는
400-mm 반경방향 동작에 대한 모티 토크 플롯들. 후자는
상기 동작을 25% 짧은 시간에 끝낸다



도면7c

표준 S-곡선 궤적 및 제안된 토크-최적화 궤적을 표시하는
400-mm 반경방향 동작에 대한 모터 토크 플롯들. 후자는
동일한 동작 시간에 대해 50% 적은 토크를 요구한다

