

발명의 설명

발명의 명칭: 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법 및 이를 수행하는 보행 로봇 기술분야

- [1] 본 발명은 복수의 관절들로 구성되며 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌을 회피하기 위한 제어 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 로봇은 스스로 보유한 능력에 의해 주어진 일을 자동으로 처리하거나 작동하는 기계를 의미하는 것으로, 로봇의 응용분야는 산업용, 서비스용, 의료용, 우주용, 해저용 등으로 분류될 수 있다.
- [3] 그 중 산업용 로봇(industrial robot)은 산업 자동화에 응용되는 것으로, 자동제어 및 제프로그래밍 가능한 다목적 머니플레이터(manipulator)로 3축 이상으로 프로그램이 가능하며, 고정 또는 이동 가능한 로봇을 의미하며, 핸드가이드 로봇(hand-guided robots), 이동 로봇의 머니플레이터 부분 및 협동 로봇(collaborating robots) 등을 포함할 수 있다.
- [4] 한편, 위와 같은 산업용 로봇과 함께, 말단 장치와, 로봇이 작업을 수행하기 위하여 필요한 모든 기계, 장비, 장치, 부가 축 또는 센서를 포함하여, 산업용 로봇 시스템(industrial robot system)이 구성될 수 있다.
- [5] 산업용 로봇 시스템은 자동차 생산과 같은 기계가공 공업에서 사람의 팔이 하는 작업에 해당하는 동작을 반복하도록 이미 많이 가동되고 있으며, 최근 들어 인건비 상승 등의 원인으로 활용도가 높아지고 있는 추세이다.
- [6] 한편, 산업용 로봇이나 보행 로봇 등과 같은 다관절 로봇은 다수의 모터를 사용하기 때문에 구동 각도에 따라 자가충돌이 발생할 수 있다.
- [7] 따라서 다관절 로봇을 제어하기 위해서는 하드웨어의 기구적 한계 각도나 자가 충돌 회피 등 다양한 변수를 고려해야 하며, 이를 위해 로봇이 자가 충돌이 발생할 수 있는 경로를 회피하여 움직일 수 있는 최적의 궤적을 찾는 기술들이 개발되고 있다.
- [8] 그러나 자가 충돌 회피를 위해 다관절 로봇의 움직임을 제한하는 경우 로봇의 작업 영역이 좁아질 수 있으므로, 다관절 로봇의 작업 가능 영역을 최대한 넓게 가져갈 수 있도록 하는 기술이 필요하다.

발명의 내용

기술적 과제

- [9] 본 발명의 해결하고자 하는 기술적 과제는, 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌을 효율적으로 회피할 수 있도록 하는 제어 방법과, 이를 수행하는 로봇을 제공하는데 있다.

- [10] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명의 기술 분야에서의 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [11] 상기한 바와 같은 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 방법은 로봇 본체에 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌을 회피하기 위한 제어 방법으로, 상기 매니플레이터의 제1 충돌 가능 부위와 상기 로봇 본체의 제2 충돌 가능 부위를 각각 선분과 원형의 단면을 가지는 입체 형상으로 모델화하는 단계; 상기 모델화된 상기 제1 충돌 가능 부위에 대한 제1 선분과 상기 제2 충돌 가능 부위에 대한 제2 선분 사이의 최단 거리를 산출하는 단계; 상기 최단 거리를 연결하는 상기 제1 선분의 제1 지점과 상기 제2 선분의 제2 지점에 대해 자코비안(Jacobian) 행렬을 적용하여, 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 산출하는 단계; 및 상기 입체 형상의 크기, 상기 제1, 2 선분 사이의 최단 거리 및 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 상기 매니플레이터와 상기 로봇 본체 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출하는 단계;를 포함한다.
- [12] 상기 제1 충돌 가능 부위는 상기 매니플레이터에 구비된 관절에 의해 움직이는 링크 부분을 포함하며, 상기 제2 충돌 가능 부위는 상기 로봇 본체의 몸통 일부분 또는 다리 관절에 의해 움직이는 링크 부분을 포함할 수 있다.
- [13] 상기 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법 중 적어도 일부는 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체로 구현될 수 있으며, 프로그램 그 자체로 제공될 수 있다.
- [14] 한편, 상기 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법은 본 발명의 실시예에 따른 로봇에 의해 수행될 수 있다.
- [15] 본 발명의 실시예에 따른 로봇은 자가 충돌 회피 기능을 가지며, 이를 위해 프로세서; 상기 프로세서에 의해 실행되는 컴퓨터 프로그램을 로드(load)하는 메모리; 및 상기 컴퓨터 프로그램을 저장하는 스토리지를 포함하되, 상기 컴퓨터 프로그램은, 로봇 본체에 장착된 매니플레이터의 제1 충돌 가능 부위와 상기 로봇 본체의 제2 충돌 가능 부위를 각각 선분과 원형의 단면을 가지는 입체 형상으로 모델화하는 동작, 상기 모델화된 상기 제1 충돌 가능 부위에 대한 제1 선분과 상기 제2 충돌 가능 부위에 대한 제2 선분 사이의 최단 거리를 산출하는 동작, 상기 최단 거리를 연결하는 상기 제1 선분의 제1 지점과 상기 제2 선분의 제2 지점에 대해 자코비안 행렬을 적용하여, 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 산출하는 동작, 및 상기 입체 형상의 크기, 상기 제1, 2 선분 사이의 최단 거리 및 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 상기 매니플레이터와 상기 로봇 본체 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출하는 동작을 실행하기 위한 인스트럭션들을 포함한다.

발명의 효과

- [16] 본 발명의 실시예에 따르면, 로봇의 충돌 가능 부위를 선분과 입체 형상으로 모델화하여 입체 형상의 크기, 선분 사이 최단 거리 및 상대 자코비안을 이용해 충돌 가능 부위들 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출함으로써, 비교적 간단한 연산을 통해 다관절 로봇의 자가 충돌 회피 기능이 실시간으로 적용될 수 있도록 하며, 자가 충돌을 방지함과 동시에 로봇의 작업 가능 영역을 넓게 가져갈 수 있다.
- [17] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 보행 로봇에 매니퓰레이터가 장착된 경우, 매니퓰레이터의 충돌 가능 부위와 로봇 본체의 충돌 가능 부위 각각을 선분과 입체 형상으로 모델화하여 입체 형상의 크기, 선분 사이 최단 거리 및 상대 자코비안을 이용해 매니퓰레이터와 로봇 본체 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출함으로써, 2 종 이상의 로봇들 사이의 자가 충돌 회피 기능을 실시간으로 적용할 수 있다.
- [18] 본 발명의 기술적 효과들은 이상에서 언급한 기술적 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명의 기술 분야에서 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [19] 도 1은 다관절 로봇의 구성에 대한 일예를 설명하기 위한 사시도이다.
- [20] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 다관절 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [21] 도 3는 본 발명의 일실시예에 따른 다관절 로봇의 구성을 개념적으로 도시한 도면이다.
- [22] 도 4 및 도 5는 로봇의 충돌 가능 부위를 모델화하는 방법에 대한 실시예들을 설명하기 위한 도면들이다.
- [23] 도 6 내지 도 11은 충돌 회피 속도를 산출하는 방법에 대한 실시예들을 설명하기 위한 도면들이다.
- [24] 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 보행 로봇의 예시적인 형태들을 나타내는 도면이다.
- [25] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [26] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 구성을 개념적으로 도시한 도면이다.
- [27] 도 15 및 도 17은 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 충돌 가능 부위를 모델화하는 방법에 대한 실시예들을 설명하기 위한 도면들이다.
- [28] 도 18 및 도 19는 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 충돌 회피 속도를 산출하는 방법에 대한 실시예들을 설명하기 위한 도면들이다.
- [29] 도 20은 본 발명의 실시예에 따른 방법들이 구현되는 컴퓨팅 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [30] 이하의 내용은 단지 본 발명의 원리를 예시한다. 그러므로 당업자는 비록 본 명세서에 명확히 설명되거나 도시되지 않았지만 본 발명의 원리를 구현하고 본 발명의 개념과 범위에 포함된 다양한 장치를 발명할 수 있는 것이다. 또한, 본 명세서에 열거된 모든 조건부 용어 및 실시예들은 원칙적으로, 본 발명의 개념이 이해되도록 하기 위한 목적으로만 명백히 의도되고, 이와 같이 특별히 열거된 실시예들 및 상태들에 제한적이지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [31] 또한, 본 발명의 원리, 관점 및 실시예들 뿐만 아니라 특정 실시예를 열거하는 모든 상세한 설명은 이러한 사항의 구조적 및 기능적 균등물을 포함하도록 의도되는 것으로 이해되어야 한다. 또한 이러한 균등물들은 현재 공지된 균등물뿐만 아니라 장래에 개발될 균등물 즉 구조와 무관하게 동일한 기능을 수행하도록 발명된 모든 소자를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [32] 따라서, 예를 들어, 본 명세서의 블록도는 본 발명의 원리를 구체화하는 예시적인 회로의 개념적인 관점을 나타내는 것으로 이해되어야 한다. 이와 유사하게, 모든 흐름도, 상태 변환도, 의사 코드 등은 컴퓨터가 판독 가능한 매체에 실질적으로 나타낼 수 있고 컴퓨터 또는 프로세서가 명백히 도시되었는지 여부를 불문하고 컴퓨터 또는 프로세서에 의해 수행되는 다양한 프로세스를 나타내는 것으로 이해되어야 한다.
- [33] 프로세서 또는 이와 유사한 개념으로 표시된 기능 블록을 포함하는 도면에 도시된 다양한 소자의 기능은 전용 하드웨어뿐만 아니라 적절한 소프트웨어와 관련하여 소프트웨어를 실행할 능력을 가진 하드웨어의 사용으로 제공될 수 있다. 프로세서에 의해 제공될 때, 상기 기능은 단일 전용 프로세서, 단일 공유 프로세서 또는 복수의 개별적 프로세서에 의해 제공될 수 있고, 이들 중 일부는 공유될 수 있다.
- [34] 또한 프로세서, 제어 또는 이와 유사한 개념으로 제시되는 용어의 명확한 사용은 소프트웨어를 실행할 능력을 가진 하드웨어를 배타적으로 인용하여 해석되어서는 아니되고, 제한 없이 디지털 신호 프로세서(DSP) 하드웨어, 소프트웨어를 저장하기 위한 롬(ROM), 램(RAM) 및 비 휘발성 메모리를 암시적으로 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 주지관용의 다른 하드웨어도 포함될 수 있다.
- [35] 본 명세서의 청구범위에서, 상세한 설명에 기재된 기능을 수행하기 위한 수단으로 표현된 구성요소는 예를 들어 상기 기능을 수행하는 회로 소자의 조합 또는 펌웨어/마이크로 코드 등을 포함하는 모든 형식의 소프트웨어를 포함하는 기능을 수행하는 모든 방법을 포함하는 것으로 의도되었으며, 상기 기능을 수행하도록 상기 소프트웨어를 실행하기 위한 적절한 회로와 결합된다. 이러한 청구범위에 의해 정의되는 본 발명은 다양하게 열거된 수단에 의해 제공되는 기능들이 결합되고 청구항이 요구하는 방식과 결합되기 때문에 상기 기능을 제공할 수 있는 어떠한 수단도 본 명세서로부터 파악되는 것과 균등한 것으로 이해되어야 한다.

- [36] 상술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면과 관련한 다음의 상세한 설명을 통하여 보다 분명해질 것이며, 그에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [37] 이하에서는, 협동 로봇을 예로 들어 본 발명의 실시예들을 설명하나, 본 발명은 이에 한정되지 아니하며, 산업용 로봇 및 그 이외에 다양한 로봇에 적용 가능할 수 있다.
- [38] 협동 로봇(collaborative robot)은 정의된 협동 작업 영역 내에서 인간과 직접 상호 작용하도록 설계된 로봇이며, 협동 운전(collaborative operation)은 협동 작업 영역 내에서 의도적으로 설계된 로봇 시스템과 운전자의 작업 상태를 의미할 수 있다.
- [39] 또한, 협동 작업 영역(collaborative workspace)은 보호 영역(safeguarded space) 내부의 작업 영역으로서 생산 운전 중 로봇과 인간이 동시에 작업을 수행하는 곳으로, 생산 작업 동안 로봇 시스템(작업물 포함)과 사람이 동시에 작업을 수행할 수 있는 작업 영역 내부의 영역을 의미할 수 있다.
- [40] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 로봇의 구성을 도시한 것으로, 로봇(100)은 베이스(Base, 110), 복수의 조인트들(120 내지 128) 및 툴 플랜지(Tool Flange, 150)를 포함하여 구성될 수 있다.
- [41] 도 1을 참조하면, 베이스(110)는 로봇(100)을 고정시키기 위한 부분으로, 베이스(110)에 로봇(100)과 컨트롤 박스(control box) 사이의 케이블 연결 커넥터가 형성될 수 있다.
- [42] 툴 플랜지(150)는 로봇(100)에 그리퍼(gripper) 또는 툴(tool)을 장착하는 부분으로, 툴 플랜지(150)에 인접한 위치들에 그리퍼 또는 툴을 제어하기 위한 입출력 포트와 직접 교시를 위한 버튼 등이 배치될 수 있다.
- [43] 한편, 베이스(110)와 툴 플랜지(150) 사이에, 베이스 조인트(Base Joint, 120), Schulter 조인트(Shoulder Joint, 122), 엘보 조인트(Elbow Joint, 124), 제1 리스트 조인트(Wrist 1 Joint, 126), 제2 리스트 조인트(Wrist 2 Joint, 127) 및 제3 리스트 조인트(Wrist 3 Joint, 128)이 구비되어, 로봇(100)의 6 축 관절 동작이 가능할 수 있다.
- [44] 도 1을 참조하여 설명한 바와 같은 다관절 로봇은, 관절마다 구비된 모터의 회전에 따라 동작하므로, 구동 각도에 따라 자가 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 자가 충돌이 발생하지 않기 위해 제한하여야 하는 로봇의 작업 가능 영역이 실시간으로 바뀔 필요가 있다.
- [45] 본 발명의 실시예에 따르면, 로봇의 충돌 가능 부위를 선분과 입체 형상으로 모델화하여 입체 형상의 크기, 선분 사이 최단 거리 및 상대 자코비안을 이용해 충돌 가능 부위들 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출함으로써, 비교적 간단한 연산을 통해 다관절 로봇의 자가 충돌 회피 기능이 실시간으로 적용될 수 있

도록 하며, 자가 충돌을 방지함과 동시에 로봇의 작업 가능 영역을 넓게 가져갈 수 있다.

- [46] 이하, 도 2 내지 도 11을 참조하여 본 발명에 따른 다관절 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법에 대한 실시예들을 보다 상세히 설명하기로 한다.
- [47] 도 2를 참조하면, 로봇의 충돌 가능 부위들 각각이 선분과 원형의 단면을 가지는 입체 형상으로 모델화된다(S200 단계).
- [48] 예를 들어, 충돌 가능 부위는 로봇에 구비된 관절에 의해 움직이는 링크 부분을 포함하도록 설정될 수 있다.
- [49] 로봇은, 도 3에 도시된 바와 같이, 복수의 관절들(301, 302, 303, 304, 305, 306)과, 관절과 관절을 연결하는 복수의 링크들(311, 312, 313, 314, 315, 316)을 포함하여 구성될 수 있으며, 각각의 링크는 일단이 연결된 관절의 모터 회전에 의해 움직일 수 있다.
- [50] 이 경우, 도 4에 도시된 바와 같이, 로봇의 충돌 가능 부위들(410, 420, 430, 440, 450)이 관절과 링크를 포함하도록 설정될 수 있다.
- [51] 여기서, 각각의 충돌 가능 부위는 선분으로 모델링되며, 해당 선분으로부터 동일한 일정 거리에 있는 점들의 집합을 이용하여 입체 형상이 구성될 수 있다.
- [52] 그에 따라, 입체 형상은 상기 일정 거리에 대응되는 반지름을 가지는 원통 부분과, 상기 원통 부분의 상하에 위치하는 2개의 반구 부분들을 포함하여 구성될 수 있다.
- [53] 도 5를 참조하면, 충돌 가능 부위(410)는, 선분(413)과, 선분(413)을 중심으로 일정 반지름(r)을 가지는 원통 부분(411), 선분(413)의 상측 끝단으로부터 일정 거리(r)에 있는 점들의 집합인 상측 반구 부분(412) 및 선분(413)의 하측 끝단으로부터 일정 거리(r)에 있는 점들의 집합인 하측 반구 부분(412')으로 구성된 입체 형상으로 모델화될 수 있다.
- [54] 여기서, 상기한 바와 같은 충돌 가능 부위의 입체 형상은, 해당 부위에 대한 접근 불가 영역(inaccessible space)를 나타낸 것일 수 있으며, 반지름(r)이 증가될수록 접근 불가 영역이 넓어지고, 반지름(r)이 감소될수록 접근 불가 영역이 좁아질 수 있다.
- [55] 그 다음, S200 단계에서 모델화된 충돌 가능 부위들 중 제1 충돌 가능 부위에 대한 제1 선분과 제2 충돌 가능 부위에 대한 제2 선분 사이의 최단 거리를 산출한다(S210 단계).
- [56] 예를 들어, 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이 로봇의 충돌 가능 부위들(410, 420, 430, 440)이 각각 선분과 입체 형상으로 모델화된 경우, 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이 제1 충돌 가능 부위(440)의 선분(443)과 또 다른 제2 충돌 가능 부위(410)의 선분(413) 사이의 최단 거리가 구해질 수 있다.
- [57] 한편, 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이, 두 충돌 가능 부위들(440, 410)의 선분들(443, 413) 사이의 최단 거리가 두 충돌 가능 부위들(440, 410)의 반지름들(r_0 , r_1)의

합(r_0+r_1) 보다 작은 경우에는, 두 충돌 가능 부위들(440, 410)이 서로의 접근 불가 영역을 침범한 것으로 판단될 수 있다.

[58] 여기서, 두 충돌 가능 부위들(440, 410)의 반지름들(r_0, r_1)은 동일하거나, 또는 상이하게 설정될 수 있으며, 입체 형상의 반지름이 클 수록 해당 충돌 가능 부위에 대한 접근 불가 영역이 넓어지게 된다.

[59] 그 후, S210 단계에서 산출된 최단 거리를 연결하는 제1 선분의 제1 지점과 제2 선분의 제2 지점에 대해 자코비안(Jacobian) 행렬을 적용하여, 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 산출한다(S220 단계).

[60] 그 다음, 입체 형상의 크기, 제1, 2 선분 사이의 최단 거리 및 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 제1, 2 충돌 가능 부위들 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출한다(S230 단계).

[61] S220 단계에서 산출되는 상대 자코비안은, 제1 지점에 자코비안 행렬이 적용된 제1 자코비안 값과 제2 지점에 자코비안 행렬이 적용된 제2 자코비안 값의 차이일 수 있으며,

[62] 그에 따라, 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안은, 제1, 2 지점들을 기준으로 한 제1, 2 충돌 가능 부위들 사이의 상대 속도를 나타낼 수 있다.

[63] 예를 들어, 도 7에 도시된 바와 같이, 제1 충돌 가능 부위(440)의 제1 선분(443)과 제2 충돌 가능 부위(410)의 제2 선분(413) 사이의 최단 거리(d_{shortest})를 연결하는 제1 지점(S_0)과 제2 지점(S_1)의 위치가 구해질 수 있다.

[64] 자코비안 행렬은 로봇에 구비된 각 관절의 모터 각속도를 특정 지점의 선형 속도 및 각속도로 변환하기 위한 것으로서, 아래의 수학식 1과 같이, 6개 모터들 각각의 각속도들($q_{m,0}, q_{m,1}, q_{m,2}, q_{m,3}, q_{m,4}, q_{m,5}$)로 구성된 (6×1) 행렬에 (3×6) 자코비안 행렬을 곱하여 해당 지점에 대한 x, y, z 축 방향의 선형 속도들($v_{m,x}, v_{m,y}, v_{m,z}$)이 계산될 수 있다.

[65] [수식1]

$$\begin{bmatrix} J_{00} & J_{01} & J_{02} & J_{03} & J_{04} & J_{05} \\ J_{10} & J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} & J_{15} \\ J_{20} & J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} & J_{25} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_{m,0} \\ \dot{q}_{m,1} \\ \dot{q}_{m,2} \\ \dot{q}_{m,3} \\ \dot{q}_{m,4} \\ \dot{q}_{m,5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{m,x} \\ v_{m,y} \\ v_{m,z} \end{bmatrix}$$

[66] 제1 지점(S_0)과 제2 지점(S_1) 각각에 대해 자코비안 행렬이 적용되면, 도 8에 도시된 바와 같이, 제1 지점(S_0)에서의 속도(v^{s0})와 제2 지점(S_1)에서의 속도(v^{s1})가 구해질 수 있다.

[67] 또한, 도 8에 도시된 바와 같이, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 크기 1의 노멀 벡터(n^{s0s1})이 구해질 수 있다.

- [68] 그리고 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이의 상대 자코비안은, 아래의 수학식 2와 같이 계산되어, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 한 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 사이의 상대 속도가 구해질 수 있다.

- [69] [수식2]

$$(J_{S_0} - J_{S_1}) \dot{q}$$

- [70] 수학식 2와 같이, 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이의 상대 자코비안은 제1 지점(S_0)에 자코비안 행렬(J_{S_0})이 적용된 제1 자코비안 값에서 제2 지점(S_1)에 자코비안 행렬(J_{S_1})이 적용된 제2 자코비안 값을 빼서 구해질 수 있다.

- [71] 여기서, 제1 지점(S_0)에 대한 자코비안 행렬(J_{S_0})과 제2 지점(S_1)에 대한 자코비안 행렬(J_{S_1})이 서로 상이하어, 아래의 수학식 3과 같이 계산되어, 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이의 x, y, z 축 방향 상대 속도들($v'_{m,x}, v'_{m,y}, v'_{m,z}$)이 계산될 수 있다.

- [72] [수식3]

$$\begin{bmatrix} J_{00}^{S_0} - J_{00}^{S_1} & J_{01}^{S_0} - J_{01}^{S_1} & J_{02}^{S_0} - J_{02}^{S_1} & J_{03}^{S_0} - J_{03}^{S_1} & J_{04}^{S_0} - J_{04}^{S_1} & J_{05}^{S_0} - J_{05}^{S_1} \\ J_{10}^{S_0} - J_{10}^{S_1} & J_{11}^{S_0} - J_{11}^{S_1} & J_{12}^{S_0} - J_{12}^{S_1} & J_{13}^{S_0} - J_{13}^{S_1} & J_{14}^{S_0} - J_{14}^{S_1} & J_{15}^{S_0} - J_{15}^{S_1} \\ J_{20}^{S_0} - J_{20}^{S_1} & J_{21}^{S_0} - J_{21}^{S_1} & J_{22}^{S_0} - J_{22}^{S_1} & J_{23}^{S_0} - J_{23}^{S_1} & J_{24}^{S_0} - J_{24}^{S_1} & J_{25}^{S_0} - J_{25}^{S_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_{m,0} \\ \dot{q}_{m,1} \\ \dot{q}_{m,2} \\ \dot{q}_{m,3} \\ \dot{q}_{m,4} \\ \dot{q}_{m,5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v'_{m,x} \\ v'_{m,y} \\ v'_{m,z} \end{bmatrix}$$

- [73] 도 9의 (a)를 참조하면, 제1 지점(S_0)에서의 속도(v^0)에서 제2 지점(S_1)에서의 속도(v^1)를 빼서, 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이의 상대 속도(v')가 구해질 수 있다.

- [74] 또한, 상기와 같이 산출된 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 제1 지점에서 제2 지점을 향하는 제1, 2 충돌 가능 부위들 사이의 속도 성분을 산출될 수 있다.

- [75] 예를 들어, 아래의 수학식 4와 같이, 수학식 3에서 구해진 (3×1) 행렬의 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이 상대 속도, 제1 지점(S_0)에서 제2 지점(S_1)을 향하는 (1×3) 행렬로 표현된 노멀 벡터 성분을 곱하여, 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이 상대 속도에서 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 방향의 속도 성분(v'^{s0s1})만을 추출할 수 있다.

- [76] [수식4]

$$\begin{bmatrix} \hat{n}_x^{s0s1} & \hat{n}_y^{s0s1} & \hat{n}_z^{s0s1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v'_{m,x} \\ v'_{m,y} \\ v'_{m,z} \end{bmatrix} = v'^{s0s1}$$

- [77] 도 9의 (b)를 참조하면, 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이 상대 속도(V')와 제1 지점(S_0)에서 제2 지점(S_1)을 향하는 노멀 벡터(n^{s0s1})를 내적하여, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 방향의 상대 속도 성분(v'^{s0s1})이 구해질 수 있다.

- [78] 상기한 바와 같이 구해지는 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 방향의 상대 속도 성분(v^{s0s1})은, 도 10에 도시된 바와 같이, 제1 지점(S_0)으로부터 최단 거리 방향의 상대 속도 크기(v^{s0s1})를 나타낼 수 있다.
- [79] 도 11의 (a)를 참조하면, 상기한 바와 같은 제1 지점(S_0)으로부터 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{s0s1})가 0 보다 큰 경우, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)이 충돌 방향으로 서로 가까워진다.
- [80] 한편, 도 11의 (a)를 참조하면, 상기한 바와 같은 제1 지점(S_0)으로부터 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{s0s1})가 0 보다 작은 경우에는, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)이 서로 멀어지는 방향으로 움직이게 된다.
- [81] 따라서 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 사이의 충돌이 발생 가능한 경우, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{s0s1})를 0 보다 작게 만들기 위한 속도를 산출하여 적용시킴으로써, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)이 서로 멀어지는 방향으로 움직이게 하여, 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 사이의 충돌이 회피될 수 있다.
- [82] 여기서, 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 사이의 충돌을 회피하기 위해 산출 속도는, 로봇에 구비된 복수의 관절들 중 적어도 하나의 모터 각속도일 수 있다.
- [83] 예를 들어, 제1 충돌 가능 부위(440)에 대응되는 제1 관절의 모터 각속도 및 제2 충돌 가능 부위(410)에 대응되는 제2 관절의 모터 각속도 중 적어도 하나를 변화시켜, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{s0s1})를 0 보다 작게 만들 수 있으며, 그에 따라 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)이 서로 멀어지는 방향으로 움직여 충돌이 회피될 수 있다.
- [84] 본 발명의 일실시예에 따르면, 제1, 2 선분들(443, 413) 사이의 최단 거리($d_{shortest}$)에서 제1 충돌 가능 부위(440)에 대한 입체 형상의 반지름(r_0)과 제2 충돌 가능 부위(410)에 대한 입체 형상의 반지름(r_1)을 차감하고, 차감한 결과에 따라 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 사이의 충돌 회피 속도를 산출하는 S230 단계가 수행될 수 있다.
- [85] 예를 들어, 아래의 수학식 5와 같이 최단 거리($d_{shortest}$)에서 반지름들(r_0, r_1)의 합을 뺀 값이 0 보다 작은 음의 값을 가지는 경우에만 S230 단계가 수행되어 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도가 산출될 수 있다.
- [86] [수식5]

$$(d_{shortest} - (r_0 + r_1)) < 0$$

- [87] 한편, 최단 거리($d_{shortest}$)에서 반지름들(r_0, r_1)의 합을 뺀 값이 0 보다 큰 양의 값을 가지는 경우에는, 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 사이 충돌 회피 속도가 산출

되지 아니하고, 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)의 속도가 변경되지 않고 기준 움직임을 계속할 수 있다.

[88] 또한, 상기한 바와 같이 차감한 결과 값을 이용하여, 제1 지점(S_0)과 제2 지점(S_1)이 서로 멀어지는 방향으로 속도 성분이 산출되도록 하는 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 중 적어도 하나의 속도가 구해질 수 있다.

[89] 예를 들어, 아래의 수학식 6과 같은 조건을 만족시키는 최적의 해(solution)을 구하는 최적화 기법인 QP(Quadratic Programming)를 이용하여, 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410) 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도가 산출될 수 있다.

[90] [수식6]

$$\vec{n}^{S_0, S_1, T} (J_{S_0} - J_{S_1}) \dot{q} \approx k(d_{shortest} - (r_0 + r_1))$$

[91] 구체적으로, 최단 거리($d_{shortest}$)에서 반지름들(r_0, r_1)의 합을 뺀 값이 0 보다 작은 음의 값을 가지는 경우, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{rel})를 0 보다 작은 음의 값을 가지도록 하는 관절의 모터 각속도(q)가 산출될 수 있다.

[92] 이 경우, 위와 같이 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{rel})가 음의 값을 가지도록 산출된 모터 각속도(q)가 해당 관절에 적용되면, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)이 서로 멀어지는 방향으로 움직여 충돌이 회피될 수 있다.

[93] 한편, 최단 거리($d_{shortest}$)에서 반지름들(r_0, r_1)의 합을 뺀 값의 절대값이 클 수록, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{rel})의 절대값 또한 증가되므로, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)이 더 빠른 속도로 움직여 충돌을 회피하게 될 수 있다.

[94] 또한, 수학식 6에서, k 는 상수로서, k 값이 클수록 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)의 충돌 회피 속도가 빨라지며, k 값이 작을수록 제1, 2 충돌 가능 부위들(440, 410)의 충돌 회피 속도가 느려질 수 있다.

[95] 도 2 내지 도 11을 참조하여 설명한 바와 같은 다관절 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법은, 본 발명의 실시예에 따른 로봇에 의해 수행될 수 있다.

[96] 한편, 상기에서는 로봇(300)이 6축의 자유도를 가지는 매니퓰레이터와 같은 다관절 로봇인 경우를 예로 들어 본 발명의 실시예들을 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 아니하며, 6축 이외의 자유도를 가지는 다관절 로봇이나, 다축 보행 로봇 등 다양한 다관절 로봇들에 적용 가능할 수 있다.

[97] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, 보행 로봇에 매니퓰레이터가 장착된 경우, 매니퓰레이터의 충돌 가능 부위와 로봇 본체의 충돌 가능 부위 각각을 선분과 입체 형상으로 모델화하여 입체 형상의 크기, 선분 사이 최단 거리 및 상대 자코비안을 이용해 매니퓰레이터와 로봇 본체 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산

출함으로써, 2 종 이상의 로봇들 사이의 자가 충돌 회피 기능을 실시간으로 적용할 수 있다.

- [98] 도 12은 본 발명의 일실시예에 따른 다족 보행 로봇의 예시적인 형태를 도시한 개요도이다.
- [99] 도 12 참조하면, 로봇은 보행 이동이 가능한 로봇으로서, 도 12의 (a)에 도시된 바와 같이 두 개의 다리들을 갖는 휴머노이드 로봇일 수도 있고, 도 12의 (b)에 도시된 바와 같이 네 개의 다리들을 갖는 사족 보행 로봇일 수도 있다.
- [100] 그러나, 본 발명의 범위는 도 12에 도시된 보행 로봇의 형태에 한정되지 않는다. 예를 들어, 보행 로봇은 세 개, 다섯 개, 또는 그 이상의 개수의 다리를 가질 수 있으며, 휴머노이드 로봇 또는 사족 보행 로봇 외에 다양한 형상을 가질 수 있다.
- [101] 도 12의 (a)를 참조하면, 보행 로봇은 몸통(610)과 2 개의 다리들(620, 621)을 포함할 수 있으며, 각각의 다리(620, 621)는 몸통(610)에 결합되고, 다리 관절에 의해 분리된 상부 부분 및 하부 부분을 가질 수 있다.
- [102] 한편, 도 12의 (b)를 참조하면, 보행 로봇은 몸통(615)과 4 개의 다리들(625, 626, 627, 628)을 포함할 수 있으며, 각각의 다리(625, 626, 627, 628)는 몸통(615)에 결합되고, 다리 관절에 의해 분리된 상부 부분 및 하부 부분을 가질 수 있다.
- [103] 또한, 보행 로봇은 몸통(610, 615) 상에 배치되고 몸통(610, 615)에 대해 움직임 가능하도록 구성된 관절식 팔(articulated arm) 과 같은 하나 이상의 부속물을 더 포함할 수 있다. 상기 관절식 팔의 말단에는 물체들을 잡거나/파지하기 위한 그립퍼(gripper) 등과 같은 하나 이상의 툴들(tools)이 구비될 수 있다.
- [104] 보행 로봇은 하나의 이미징 센서(imaging sensor) 또는 카메라를 구비한 비전 시스템(vision system)을 포함할 수 있으며, 예를 들어 하나 이상의 카메라와 하나 이상의 2차원 또는 3차원 라이다(LiDAR) 센서가 로봇(100)에 장착될 수 있으나, 본 발명은 이에 한정되지 아니한다.
- [105] 보행 로봇에 장착된 각각의 센서 또는 카메라는, 주변의 환경 및 지형에 대한 이미지 데이터나 센서 데이터를 수집한다. 비전 시스템은 보행 로봇의 시야를 임의의 방향으로 이동시키기 위해 카메라를 패닝(panning) 또는 틸팅(tilting)시킬 수 있다. 비전 시스템의 카메라들 또는 센서들에 의해 수집된 이미지 데이터 또는 센서 데이터는 로봇의 중앙 처리 장치에 제공될 수 있다.
- [106] 또한, 로봇은, 상기한 카메라와 라이다 센서 등과 같은 비전 센서들 이외에, 로봇의 동역학 상태를 측정하기 위한 센서들을 추가로 구비할 수 있다.
- [107] 예를 들어, 로봇의 동역학 상태는 로봇의 관성, 각 관절의 각도, 힘, 자세, 위치 또는 상태, 관절과 이어진 각 구성의 속도, 또는 가속도, 로봇의 무게 중심 등을 포함할 수 있다.
- [108] 상기한 바와 같은 로봇의 동역학 상태를 측정하기 위해, 로봇에는 관성을 측정하기 위한 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서, 관절의 각도를 측정하기 위한 각도 센서, 관절의 힘을 측정하기 위한 전류 센서 등을 포함할 수 있으나, 본 발명은 이에 한정되지 아니한다.

- [109] 이하, 도 13 내지 도 19를 참조하여, 본 발명에 따른 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법에 대한 실시예들을 설명하기로 한다. 한편, 도 13 내지 도 19에 도시된 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법 중 도 2 내지 도 11을 참조하여 설명한 것과 동일한 것에 대한 설명은 이하 생략하기로 한다.
- [110] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법을 흐름도로 도시한 것이다.
- [111] 도 13을 참조하면, 매니퓰레이터의 제1 충돌 가능 부위와 로봇 본체의 제2 충돌 가능 부위 각각이 선분과 원형의 단면을 가지는 입체 형상으로 모델화된다(S700 단계).
- [112] 본 발명의 일실시예에 따른 보행 로봇(1000)은, 도 14에 도시된 바와 같이, 몸통(1115)과 다리들(1125, 1126, 1127, 1128)로 구성된 로봇 본체(1100)와, 로봇 본체(1100)에 장착된 매니퓰레이터(1200)를 포함할 수 있다.
- [113] 이 경우, 로봇 본체(1100)에 복수의 충돌 가능 부위들이 설정되고, 매니퓰레이터(1200)에도 복수의 충돌 가능 부위들이 설정될 수 있다.
- [114] 여기서, 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위는 매니퓰레이터(1200)에 구비된 관절에 의해 움직이는 링크 부분을 포함하고, 로봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위는 몸통(1115)의 일부분 또는 다리들(1125, 1126, 1127, 1128)의 관절에 의해 움직이는 링크 부분을 포함할 수 있다.
- [115] 예를 들어, 로봇 본체(1100)에는, 도 15에 도시된 바와 같이 다리(1125, 1127)의 관절과 링크를 포함하도록 충돌 가능 부위들(1210, 1212, 1220, 1222)이 설정되고, 도 16에 도시된 바와 같이 몸통(1115)의 일부분들을 포함하도록 충돌 가능 부위들(1310, 1312, 1314, 1316, 1320, 1322)이 설정될 수 있다.
- [116] 한편, 매니퓰레이터(1200)에는, 도 17에 도시된 바와 같이, 관절과 링크를 포함하도록 충돌 가능 부위들(1410, 1420, 1430, 1440, 1450)이 설정될 수 있다.
- [117] S700 단계에서 충돌 가능 부위가 모델화되는 입체 형상은, 일정 반지름을 가지는 원통 부분과, 상기 원통 부분의 상하에 위치하는 2개의 반구 부분들을 포함하여 구성될 수 있으며, 도 2 내지 도 11을 참조하여 설명한 것과 동일할 수 있으므로 이에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [118] 그 다음, S700 단계에서 모델화된 제1 충돌 가능 부위에 대한 제1 선분과 제2 충돌 가능 부위에 대한 제2 선분 사이의 최단 거리가 산출된다(S710 단계).
- [119] 예를 들어, 도 18에 도시된 바와 같이, 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위(1440)에 대한 선분(1441)과 로봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위(1310)에 대한 선분(1311) 사이의 최단 거리(dshortest)가 구해질 수 있다.
- [120] 여기서, 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위(1440)와 로봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위(1310)는 반지름(r_0 , r_1)이 서로 상이할 수 있으며, 예를 들어, 로봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위(1310)에 대한 반지름(r_1)이 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위(1440)에 대한 반지름(r_0) 보다 클 수 있다.

- [121] 그 후, S710 단계에서 산출된 최단 거리를 연결하는 제1 선분의 제1 지점과 제2 선분의 제2 지점에 대해 자코비안 행렬을 적용하여, 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안이 산출된다(S720 단계).
- [122] 그 다음, 입체 형상의 크기, 제1, 2 선분 사이의 최단 거리 및 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 매니퓰레이터(1200)와 로봇 본체(1100) 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도가 산출된다(S730 단계).
- [123] S720 단계에서 산출되는 상대 자코비안은, 제1 지점에 자코비안 행렬이 적용된 제1 자코비안 값과 제2 지점에 자코비안 행렬이 적용된 제2 자코비안 값의 차이일 수 있으며, 그에 따라 제1, 2 지점들을 기준으로 한 제1, 2 충돌 가능 부위들 사이의 상대 속도를 나타낼 수 있다.
- [124] 예를 들어, 도 18에 도시된 바와 같이, 제1 충돌 가능 부위(1440)의 제1 선분(1441)과 제2 충돌 가능 부위(1310)의 제2 선분(1311) 사이의 최단 거리(d_{shortest})를 연결하는 제1 지점(S_0)과 제2 지점(S_1)의 위치가 구해질 수 있다.
- [125] 로봇 본체(1100)에 매니퓰레이터(1200)가 장착된 경우, 로봇 본체(1100) 또는 매니퓰레이터(1200)의 특정 지점들(S_0, S_1) 사이의 상대 자코비안은 아래의 수학적식 7과 같이 계산될 수 있다.
- [126] [수식7]

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{00}^{S_0}-J_{00}^{S_1} & J_{01}^{S_0}-J_{01}^{S_1} & J_{02}^{S_0}-J_{02}^{S_1} & J_{03}^{S_0}-J_{03}^{S_1} & J_{04}^{S_0}-J_{04}^{S_1} & J_{05}^{S_0}-J_{05}^{S_1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{10}^{S_0}-J_{10}^{S_1} & J_{11}^{S_0}-J_{11}^{S_1} & J_{12}^{S_0}-J_{12}^{S_1} & J_{13}^{S_0}-J_{13}^{S_1} & J_{14}^{S_0}-J_{14}^{S_1} & J_{15}^{S_0}-J_{15}^{S_1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & J_{20}^{S_0}-J_{20}^{S_1} & J_{21}^{S_0}-J_{21}^{S_1} & J_{22}^{S_0}-J_{22}^{S_1} & J_{23}^{S_0}-J_{23}^{S_1} & J_{24}^{S_0}-J_{24}^{S_1} & J_{25}^{S_0}-J_{25}^{S_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{q,x} \\ v_{q,y} \\ v_{q,z} \\ \omega_{q,x} \\ \omega_{q,y} \\ \omega_{q,z} \\ \dot{q}_{m,0} \\ \dot{q}_{m,1} \\ \dot{q}_{m,2} \\ \dot{q}_{m,3} \\ \dot{q}_{m,4} \\ \dot{q}_{m,5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v'_{m,x} \\ v'_{m,y} \\ v'_{m,z} \end{bmatrix}$$

- [127] 수학적식 7에서, $v_{q,x}, v_{q,y}, v_{q,z}$ 는 로봇 본체(1100)의 몸통(1115) 부분의 x, y, z 축 방향의 선형 속도들이며, $\omega_{q,x}, \omega_{q,y}, \omega_{q,z}$ 는 몸통(1115)의 roll, pitch, yaw 방향의 각속도들이고, $q_{m,0}, q_{m,1}, q_{m,2}, q_{m,3}, q_{m,4}, q_{m,5}$ 는 매니퓰레이터(1200)에 구비된 6개 모터들 각각의 각속도이다.
- [128] 상기한 바와 같이 상대 자코비안이 계산되어, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 한 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위(1440)와 로봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위(1310) 사이의 상대 속도($v'_{m,x}, v'_{m,y}, v'_{m,z}$)가 구해질 수 있다.
- [129] 또한, 상기와 같이 산출된 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 제1 지점에서 제2 지점을 향하는 제1, 2 충돌 가능 부위들 사이의 속도 성분을 산출될 수 있다.

- [130] 예를 들어, 위의 수학식 4와 같이, 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이 상대 속도($v'_{m,x}, v'_{m,y}, v'_{m,z}$)에, 제1 지점(S_0)에서 제2 지점(S_1)을 향하는 노멀 벡터 성분을 곱하여, 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이 상대 속도에서 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 방향의 속도 성분(v^{s0s1})만을 추출할 수 있다.
- [131] 즉, 제1, 2 지점들(S_0, S_1) 사이 상대 속도(V)와 제1 지점(S_0)에서 제2 지점(S_1)을 향하는 노멀 벡터(n^{s0s1})를 내적하여, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 방향의 상대 속도 성분(v^{s0s1})이 구해질 수 있다.
- [132] 상기한 바와 같이 구해지는 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 방향의 상대 속도 성분(v^{s0s1})은, 도 19에 도시된 바와 같이, 매니퓰레이터(1200)의 제1 지점(S_0)으로부터 로봇 본체(1100)의 제2 지점(S_1) 향하는 최단 거리 방향의 상대 속도 크기(v^{s0s1})를 나타낼 수 있다.
- [133] 이 때, 제1 지점(S_0)으로부터 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{s0s1})가 0 보다 큰 경우, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위(1440)와 로봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위(1310)가 충돌 방향으로 서로 가까워진다.
- [134] 한편, 제1 지점(S_0)으로부터 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{s0s1})가 0 보다 작은 경우에는, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위(1440)와 로봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위(1310)가 서로 멀어지는 방향으로 움직이게 된다.
- [135] 따라서 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{s0s1})를 0 보다 작게 만들기 위한 속도를 산출하여 적용시킴으로써, 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 제1, 2 충돌 가능 부위들(1440, 1310)이 서로 멀어지는 방향으로 움직이게 하여, 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위(1440)와 로봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위(1310) 사이의 충돌이 회피될 수 있다.
- [136] 여기서, 제1, 2 충돌 가능 부위들(1440, 1310) 사이의 충돌을 회피하기 위해 산출되는 속도는, 매니퓰레이터(1200)에 구비된 복수의 관절들의 적어도 하나의 모터 각속도이거나, 로봇 본체(1100)의 선형 속도 또는 각속도일 수 있다.
- [137] 예를 들어, 수학식 7에서, 매니퓰레이터(1200)에 구비된 복수의 관절들의 모터 각속도들($q_{m,0}, q_{m,1}, q_{m,2}, q_{m,3}, q_{m,4}, q_{m,5}$), 로봇 본체(1100)의 x, y, z 축 방향의 선형 속도들($v_{q,x}, v_{q,y}, v_{q,z}$), 로봇 본체(1100)의 roll, pitch, yaw 방향의 각속도들($\omega_{q,x}, \omega_{q,y}, \omega_{q,z}$) 중 적어도 하나를 변화시켜, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{s0s1})를 0 보다 작게 만들 수 있으며, 그에 따라 제1, 2 지점들(S_0, S_1)을 기준으로 매니퓰레이터(1200)와 로봇 본체(1100)가 서로 멀어지는 방향으로 움직여 충돌이 회피될 수 있다.
- [138] 상기한 바와 같이, 제1, 2 선분들(1441, 1311) 사이의 최단 거리($d_{shortest}$)에서 매니퓰레이터(1200)의 제1 충돌 가능 부위(1440)에 대한 입체 형상의 반지름(r_0)과 로

봇 본체(1100)의 제2 충돌 가능 부위(1310)에 대한 입체 형상의 반지름(r_1)을 차감하고, 차감한 결과에 따라 매니플레이터(1200)와 로봇 본체(1100) 사이의 충돌 회피 속도를 산출하는 S730 단계가 수행될 수 있다.

- [139] 예를 들어, 위의 수학식 5와 같이, 최단 거리(d_{shortest})에서 반지름들(r_0, r_1)의 합을 뺀 값이 0 보다 작은 음의 값을 가지는 경우에만 S730 단계가 수행되어 매니플레이터(1200)와 로봇 본체(1100) 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도가 산출될 수 있다.
- [140] 한편, 최단 거리(d_{shortest})에서 반지름들(r_0, r_1)의 합을 뺀 값이 0 보다 큰 양의 값을 가지는 경우에는, 매니플레이터(1200)와 로봇 본체(1100) 사이의 충돌 회피 속도가 산출되지 아니할 수 있다.
- [141] 또한, 상기한 바와 같이 차감한 결과 값을 이용하여, 제1 지점(S_0)과 제2 지점(S_1)이 서로 멀어지는 방향으로 속도 성분이 산출되도록 하는 매니플레이터(1200)의 관절 모터 속도, 로봇 본체(1100)의 선형 속도 및 각속도 중 적어도 하나가 구해질 수 있다.
- [142] 예를 들어, 위의 수학식 6과 같은 조건을 만족시키는 최적의 해를 구하는 최적화 기법인 QP(Quadratic Programming)를 이용하여, 매니플레이터(1200)와 로봇 본체(1100) 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도가 산출될 수 있다.
- [143] 구체적으로, 최단 거리(d_{shortest})에서 반지름들(r_0, r_1)의 합을 뺀 값이 0 보다 작은 음의 값을 가지는 경우, 제1 지점(S_0)으로부터 제2 지점(S_1)을 향하는 최단 거리 방향의 상대 속도(v^{rel})를 0 보다 작은 음의 값을 가지도록 하는, 매니플레이터(1200)에 구비된 복수의 관절들의 모터 각속도들($q_{m,0}, q_{m,1}, q_{m,2}, q_{m,3}, q_{m,4}, q_{m,5}$), 로봇 본체(1100)의 x, y, z 축 방향의 선형 속도들($v_{q,x}, v_{q,y}, v_{q,z}$), 로봇 본체(1100)의 roll, pitch, yaw 방향의 각속도들($\omega_{q,x}, \omega_{q,y}, \omega_{q,z}$) 중 적어도 하나가 산출될 수 있다.
- [144] 상기에서는, 제1 충돌 가능 부위는 매니플레이터(1200)에 위치하고 제2 충돌 가능 부위는 로봇 본체(1100)에 위치하는 경우를 예로 들어 본 발명의 일 실시예를 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 아니하며, 제1, 2 충돌 가능 부위들이 모두 매니플레이터(1200)에 위치하는 경우에도 적용 가능하다.
- [145] 도 13 내지 도 19를 참조하여 설명한 바와 같은 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법은, 본 발명의 실시예에 따른 보행 로봇에 의해 수행될 수 있다.
- [146] 한편, 상기에서는 4개의 다리를 가지는 사족 보행 로봇에 6축의 자유도를 가지는 매니플레이터가 장착되는 경우를 예로 들어 본 발명의 실시예들을 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 아니하며, 2개의 다리를 가지는 휴머노이드 로봇이나 바퀴 등을 이용해 이동하는 모바일 로봇 등 다양한 이동형 로봇에 또 다른 로봇이 장착되는 경우들에 다양하게 적용될 수 있다.
- [147] 이하에서는, 도 20을 참조하여 본 발명의 다양한 실시예들에서 설명된 방법들이 구현되는 예시적인 컴퓨팅 장치(500)에 대하여 설명하도록 한다. 예를 들어,

도 20의 컴퓨팅 장치(500)는 본 발명의 실시예에 따른 로봇의 적어도 일부 구성요소로 구현될 수 있다.

- [148] 도 20을 참조하면, 컴퓨팅 장치(500)는 하나 이상의 프로세서(510), 버스(550), 통신 인터페이스(570), 프로세서(510)에 의하여 수행되는 컴퓨터 프로그램(591)을 로드(load)하는 메모리(530)와, 컴퓨터 프로그램(591)를 저장하는 스토리지(590)를 포함할 수 있다.
- [149] 다만, 도 20에는 본 발명의 실시예와 관련 있는 구성요소들만이 도시되어 있다. 따라서, 본 발명이 속한 기술분야의 통상의 기술자라면 도 20에 도시된 구성요소들 외에 다른 범용적인 구성 요소들이 더 포함될 수 있음을 알 수 있다.
- [150] 프로세서(510)는 컴퓨팅 장치(500)의 각 구성의 전반적인 동작을 제어한다. 프로세서(510)는 CPU(Central Processing Unit), MPU(Micro Processor Unit), MCU(Micro Controller Unit), GPU(Graphic Processing Unit) 또는 본 발명의 기술 분야에 잘 알려진 임의의 형태의 프로세서 중 적어도 하나를 포함하여 구성될 수 있다. 또한, 프로세서(510)는 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 방법/동작을 실행하기 위한 적어도 하나의 애플리케이션 또는 프로그램에 대한 연산을 수행할 수 있다. 컴퓨팅 장치(500)는 하나 이상의 프로세서를 구비할 수 있다.
- [151] 메모리(530)는 각종 데이터, 명령 및/또는 정보를 저장한다. 메모리(530)는 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 방법/동작들을 실행하기 위하여 스토리지(590)로부터 하나 이상의 프로그램(591)을 로드(load) 할 수 있다. 메모리(530)의 예시는 RAM이 될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [152] 버스(550)는 컴퓨팅 장치(500)의 구성 요소 간 통신 기능을 제공한다. 버스(550)는 주소 버스(Address Bus), 데이터 버스(Data Bus) 및 제어 버스(Control Bus) 등 다양한 형태의 버스로 구현될 수 있다.
- [153] 통신 인터페이스(570)는 컴퓨팅 장치(500)의 유무선 인터넷 통신을 지원한다. 통신 인터페이스(570)는 인터넷 통신 외의 다양한 통신 방식을 지원할 수도 있다. 이를 위해, 통신 인터페이스(570)는 본 발명의 기술 분야에 잘 알려진 통신 모듈을 포함하여 구성될 수 있다.
- [154] 스토리지(590)는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램(591)을 비임시적으로 저장할 수 있다. 스토리지(590)는 ROM(Read Only Memory), EPROM(Erasable Programmable ROM), EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM), 플래시 메모리 등과 같은 지휘발성 메모리, 하드 디스크, 착탈형 디스크, 또는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 잘 알려진 임의의 형태의 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체를 포함하여 구성될 수 있다.
- [155] 컴퓨터 프로그램(591)은 도 2 내지 도 11을 참조하여 설명한 바와 같은 본 발명의 실시예들에 따른 방법/동작들이 구현된 하나 이상의 인스트럭션(Instruction)들을 포함할 수 있다.
- [156] 예를 들어, 컴퓨터 프로그램(591)은, 로봇의 충돌 가능 부위들을 각각 선분과 원형의 단면을 가지는 입체 형상으로 모델화하는 동작, 모델화된 충돌 가능 부위들

중 제1 충돌 가능 부위에 대한 제1 선분과 제2 충돌 가능 부위에 대한 제2 선분 사이의 최단 거리를 산출하는 동작, 최단 거리를 연결하는 제1 선분의 제1 지점과 제2 선분의 제2 지점 사이의 상대 자코비안을 산출하는 동작, 및 입체 형상의 크기, 제1, 2 선분 사이의 최단 거리 및 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 제1, 2 충돌 가능 부위들 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출하는 동작을 실행하기 위한 인스트럭션들을 포함할 수 있다.

- [157] 또한, 컴퓨터 프로그램(591)은 도 13 내지 도 19를 참조하여 설명한 바와 같은 본 발명의 실시예들에 따른 방법/동작들이 구현된 하나 이상의 인스트럭션(Instruction)들을 포함할 수 있다.
- [158] 예를 들어, 컴퓨터 프로그램(591)은, 로봇 본체에 장착된 매니퓰레이터의 제1 충돌 가능 부위와 상기 로봇 본체의 제2 충돌 가능 부위를 각각 선분과 원형의 단면을 가지는 입체 형상으로 모델화하는 동작, 상기 모델화된 상기 제1 충돌 가능 부위에 대한 제1 선분과 상기 제2 충돌 가능 부위에 대한 제2 선분 사이의 최단 거리를 산출하는 동작, 상기 최단 거리를 연결하는 상기 제1 선분의 제1 지점과 상기 제2 선분의 제2 지점에 대해 자코비안 행렬을 적용하여, 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 산출하는 동작, 및 상기 입체 형상의 크기, 상기 제1, 2 선분 사이의 최단 거리 및 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 상기 매니퓰레이터와 상기 로봇 본체 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출하는 동작을 실행하기 위한 인스트럭션들을 포함할 수 있다.
- [159] 컴퓨터 프로그램(591)이 메모리(530)에 로드 되면, 프로세서(510)는 상기 하나 이상의 인스트럭션들을 실행시킴으로써 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 방법/동작들을 수행할 수 있다.
- [160] 상술한 본 발명에 따른 방법들은 컴퓨터에서 실행되기 위한 프로그램으로 제작되어 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체에 저장될 수 있으며, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있다.
- [161] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고, 상기 방법을 구현하기 위한 기능적인(function) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있다.
- [162] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형 실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어서는 안될 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 로봇 본체에 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌을 회피하기 위한 제어 방법에 있어서,
 상기 매니퓰레이터의 제1 충돌 가능 부위와 상기 로봇 본체의 제2 충돌 가능 부위를 각각 선분과 원형의 단면을 가지는 입체 형상으로 모델화하는 단계;
 상기 모델화된 상기 제1 충돌 가능 부위에 대한 제1 선분과 상기 제2 충돌 가능 부위에 대한 제2 선분 사이의 최단 거리를 산출하는 단계;
 상기 최단 거리를 연결하는 상기 제1 선분의 제1 지점과 상기 제2 선분의 제2 지점에 대해 자코비안(Jacobian) 행렬을 적용하여, 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 산출하는 단계; 및
 상기 입체 형상의 크기, 상기 제1, 2 선분 사이의 최단 거리 및 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 상기 매니퓰레이터와 상기 로봇 본체 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서, 상기 제1 충돌 가능 부위는
 상기 매니퓰레이터에 구비된 관절에 의해 움직이는 링크 부분을 포함하는 것을 특징으로 하는 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.
- [청구항 3] 제1항에 있어서, 상기 제2 충돌 가능 부위는
 상기 로봇 본체의 몸통 일부분 또는 다리 관절에 의해 움직이는 링크 부분을 포함하는 것을 특징으로 하는 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.
- [청구항 4] 제1항에 있어서, 상기 입체 형상은
 상기 선분으로부터 일정 거리에 있는 점들의 집합을 이용하여 구성되는 것을 특징으로 하는 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.
- [청구항 5] 제4항에 있어서,
 상기 제1 충돌 가능 부위가 모델화된 입체 형상의 반지름과 상기 제2 충돌 가능 부위가 모델화된 입체 형상의 반지름이 서로 상이한 것을 특징으로 하는 매니퓰레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.
- [청구항 6] 제1항에 있어서, 상기 상대 자코비안은
 상기 제1 지점에 자코비안 행렬이 적용된 제1 자코비안 값과 상기 제2 지점에 자코비안 행렬이 적용된 제2 자코비안 값의 차이인 것을 특징으로

하는 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.

- [청구항 7] 제6항에 있어서, 상기 상대 자코비안은
상기 제1, 2 지점들을 기준으로 한 상기 제1, 2 충돌 가능 부위들 사이의 상대 속도를 나타내는 것을 특징으로 하는 다관절 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.
- [청구항 8] 제1항에 있어서, 상기 속도를 산출하는 단계는
상기 제1, 2 선분 사이의 최단 거리에서 상기 제1 충돌 가능 부위에 대한 입체 형상의 반지름과 상기 제2 충돌 가능 부위에 대한 입체 형상의 반지름을 차감하는 단계; 및
상기 차감한 결과가 음의 값을 가지는 경우 상기 제1, 2 충돌 가능 부위들 중 적어도 하나의 속도를 변경시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.
- [청구항 9] 제8항에 있어서, 상기 속도를 산출하는 단계는
상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 상기 제1 지점에서 상기 제2 지점을 향하는 상기 제1, 2 충돌 가능 부위들 사이의 속도 성분을 산출하는 단계; 및
상기 차감한 결과 값을 이용하여, 상기 제1 지점과 상기 제2 지점이 서로 멀어지는 방향으로 상기 속도 성분이 산출되도록 하는, 상기 매니플레이터에 구비된 관절의 모터 각속도, 상기 로봇 본체의 선형 속도 및 각속도 중 적어도 하나를 결정하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 매니플레이터가 장착된 보행 로봇의 자가 충돌 회피를 위한 제어 방법.
- [청구항 10] 하드웨어와 결합되어 제1항 내지 제9항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.
- [청구항 11] 제1항 내지 제9항 중 어느 한 항의 방법을 수행하는 보행 로봇.
- [청구항 12] 자가 충돌 회피 기능을 가지는 보행 로봇에 있어서,
프로세서;
상기 프로세서에 의해 실행되는 컴퓨터 프로그램을 로드(load)하는 메모리; 및
상기 컴퓨터 프로그램을 저장하는 스토리지를 포함하되,
상기 컴퓨터 프로그램은,
로봇 본체에 장착된 매니플레이터의 제1 충돌 가능 부위와 상기 로봇 본체의 제2 충돌 가능 부위를 각각 선분과 원형의 단면을 가지는 입체 형상으로 모델화하는 동작,
상기 모델화된 상기 제1 충돌 가능 부위에 대한 제1 선분과 상기 제2 충돌 가능 부위에 대한 제2 선분 사이의 최단 거리를 산출하는 동작,

상기 최단 거리를 연결하는 상기 제1 선분의 제1 지점과 상기 제2 선분의 제2 지점에 대해 자코비안 행렬을 적용하여, 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 산출하는 동작, 및

상기 입체 형상의 크기, 상기 제1, 2 선분 사이의 최단 거리 및 상기 제1, 2 지점 사이의 상대 자코비안을 이용하여, 상기 매니플레이터와 상기 로봇 본체 사이의 충돌을 회피하기 위한 속도를 산출하는 동작을 실행하기 위한 인스트럭션들을 포함하는 것을 특징으로 하는 보행 로봇.