

간략화 된 모듈 기반의 휴머노이드 로봇을 위한 자기충돌 탐지

곽환주, 박귀태
고려대학교 전자전기공학과

Simplified Module Based Self-collision Detection for Humanoid Robots

Hwan-Joo Kwak, Gwi-Tae Park
School of electrical engineering, Korea University

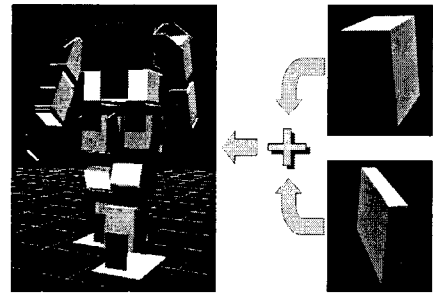
Abstract - We are presenting the efficient and robust simplified module based self-collision detection of humanoid robot simulator. For safe and reliable operations of humanoid robot, the self-collision detection is essential and extremely important. The main methods of self-collision detection are inverse X-Y-Z fixed angles and module distance filtering (MDF). According to experiments on the humanoid robot simulator with the self-collision detection, we could have a confidence about the efficiency of the self-collision.

세부적으로 정확히 표현할 필요는 없다. 본 논문에서는 효율적이고 강한 자기충돌 탐지를 위해 불룩하지 않은 형태의 외형을 엄격하게 제한된 간단하고 불룩한 외형의 모듈들로 간략화 및 모듈화 한다. 본 논문의 휴머노이드 로봇의 전체 외형은 그림 2에서와 같이 48개의 크고 작은 직육면체들의 조합으로 이루어져 있다. 직육면체의 형태로 정형화 된 모듈을 기반으로 한 간략화를 통해 기존의 자기충돌 탐지 알고리즘에 비해 보다 빠르고 강한 자기충돌 탐지 알고리즘을 구현할 수 있다.

1. 서 론

최근 로봇 분야의 연구는 여러 분야에서 다양하게 이루어지고 있다. 그중 휴머노이드 로봇에 관한 연구는 많은 관심을 받고 있다. 그리고 우리 연구는 로봇과 함께하는 삶을 최종 목표로 하고 있다. 휴머노이드 로봇은 매우 복잡하고 개발에 많은 어려움이 있는 시스템이다. 지금까지의 휴머노이드 로봇 분야의 많은 연구는 안정적인 동작 및 그에 따른 제어에 중점을 두어 이루어 졌다. 하지만 휴머노이드 로봇이 사람이 살아가는 환경에서 함께 살아가며 자신에게 주어진 임무를 충실히 수행 할 수 있기 위해서는 동작의 안정성 및 효율성뿐만 아니라 휴머노이드 로봇 동작의 안전성 및 정확성이 반드시 보장 되어야 한다. 이에, 본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 안전한 움직임 보장을 위한 보다 빠르고 정확한 자기충돌 탐지 알고리즘의 개발을 목표로 한다.

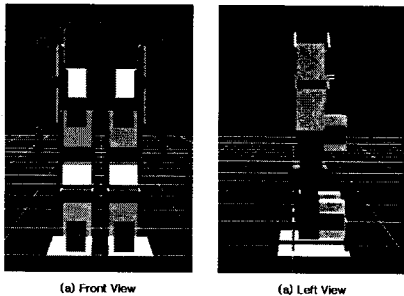
휴머노이드 로봇의 자기충돌은 로봇 자신의 물리적 손상뿐만 아니라 같은 활동 공간에서 활동하는 사람에게까지 신체적 피해를 줄 수 있는 가능성을 가지고 있다. 이에 어떠한 경우에서도 휴머노이드 로봇의 자기충돌은 미리 탐지되고 회피 되어야 한다. 일반적으로 휴머노이드 로봇은 그림 1에서와 같이 매우 높은 자유도(DOF)를 가지며 매우 복잡한 구조 외형을 가지는 시스템이다. 본 논문에서는 이러한 휴머노이드 로봇 시스템에서의 간략화 된 모듈을 기반으로 하는 빠르고 정확한 자기충돌 탐지 알고리즘의 개발에 관해 제안하려 한다.



〈그림 2〉 간략화된 모듈 기반 휴머노이드 로봇 구조

2.1.2 자기충돌 탐지 알고리즘

본 논문의 자기충돌 탐지 알고리즘은 모듈 기반의 알고리즘이다. 전체 자기충돌 탐지는 각 모듈들 간의 충돌 여부 판단을 통해 쉽게 이루어 질 수 있다. 모든 모터와 프레임들은 간략화 된 직육면체 모듈들로 표현된다. 그리고 각 모듈의 위치 및 방향을 조정하여 각 모듈간의 충돌 탐지를 보다 간단하게 만들 수 있으며 이를 통해 충돌 탐지 속도를 향상시킬 수 있다. 그림 3에서와 같이 기준이 되는 모듈이 초기의 방향을 향하고 원점에 위치하도록 이동 및 회전 시킨다. 그리고 나머지 모듈들도 이와 함께 이동 및 회전 시키고 그 이후 각 모듈간의 충돌 여부를 확인한다.



〈그림 1〉 휴머노이드 로봇 시뮬레이터

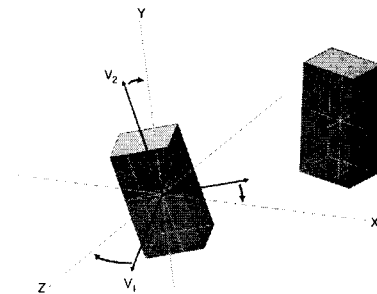
2. 본 론

2.1 모듈 기반 휴머노이드 로봇 시뮬레이터

휴머노이드 로봇은 두 개의 팔과 두 개의 다리가 체인과 같은 형태로 몸통에 연결되어 있는 구조로 이루어져 있다. 이러한 휴머노이드 로봇의 자기충돌 탐지의 중요한 요소에는 외형의 정확한 표현성, 판단의 정확성, 빠른 탐지 속도, 그리고 적은 메모리 할당량 등이 있다. 이 요소들은 서로 간에 상호 trade-off 관계에 있다. 효율적인 자기충돌 탐지를 위해서는 이 요소들 간의 적절한 조합이 필요하다. 본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 복잡한 구조를 간략화 된 모듈들로 구성하고 이에 모듈 거리 필터링(MDF)을 적용하여 보다 빠르고 정확한 자기충돌 탐지가 가능하도록 한다.

2.1.1 간략화된 모듈 기반 구조

휴머노이드 로봇과 같은 복잡한 형태의 로봇은 여러 불룩하지 않은 형태의 구조들로 이루어져 있다. 하지만 이렇게 복잡한 모든 외형을 자세하고



〈그림 3〉 중심 모듈을 기준으로 대상 모듈 회전

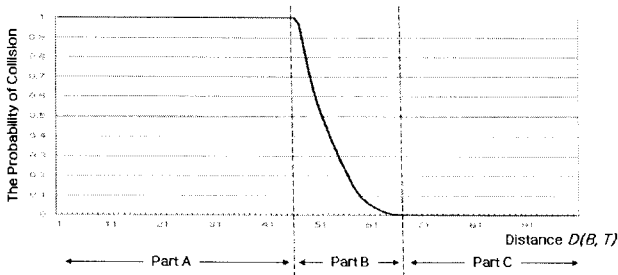
한 모듈을 기준으로 한 나머지 모듈들의 이동 및 회전을 통해 직육면체 모듈들 간의 충돌 여부를 매우 단순하고 간단한 계산만으로도 판단할 수 있다. 변환된 기준 모듈의 X-Y, Y-Z, 그리고 Z-X 평면에 평행한 6개의 평면을 대상 모듈의 모서리가 통과 하는 경우 자기충돌로 판단 할 수 있다.

2.2 모듈 거리 필터링 (MDF)

본 논문에서의 휴머노이드 로봇은 총 48개의 모듈로 이루어진 구조를 가지고 있다. 이때 자기충돌 탐지를 위해 필요한 각 모듈간의 충돌 확인 경우의 수는 2304 (48²) 이다. 그리고 각 모듈간의 충돌 확인에서의 필요한 면과 모서리간의 간섭 확인의 수는 직육면체 모서리의 개수인 12개 이다. 따라서 간략화 된 모듈 기반의 자기충돌 탐지를 위해서는 27648번의 면과 모서리간의 간섭 확인이 필요하다. 구조를 간략화 하고 변환한 결과, 각각의

간접 확인에는 매우 짧은 계산 시간이 소요된다. 하지만 전체 외형을 많은 작은 모듈들로 나누었기 때문에 아무리 간단한 계산이지만 계산의 수 자체가 많아지기 때문에 전체적인 성능은 크게 향상 되지 않는다. 이것을 해결하기 위해 모듈 거리 필터링 (MDF)을 적용한다.

각 모듈간의 충돌을 확인하는 과정에서는 그림 4에서와 같이 크게 세 가지의 경우가 있을 수 있다. 서로간의 거리가 너무 가까워서 반드시 충돌이 발생하는 경우, 너무 멀어서 결코 충돌이 발생하지 않는 경우, 그리고 실제로 충돌이 발생하지 발생하지 않을지 확인이 필요한 경우이다.



〈그림 4〉 모듈간 거리에 따른 자기충돌 확률

기준 모듈의 중심에서의 가장 가까운 면까지의 거리를 Min_B , 가장 먼 면까지의 거리를 Max_B 라 하고 대상 모듈에서의 경우 모듈의 중심에서의 가장 가까운 면까지의 거리를 Min_T , 가장 먼 면까지의 거리를 Max_T 라 하자. 또한, 기준 모듈과 대상 모듈 중심 사이의 거리를 $D(B, T)$ 라 하자. $D(B, T)$ 와 자기충돌 발생 확률은 그림 4에서 보는 바와 같이 밀접한 관계를 가지고 있으며 Part A, B, 그리고 C로 나눌 수 있다. Part A와 B를 나누는 조건은 식 (1)과 같다.

$$D(B, T) < Min_B + Min_T \quad (1)$$

또한, Part B와 C를 나누는 조건은 식 (2)와 같다.

$$D(B, T) > Max_B + Max_T \quad (2)$$

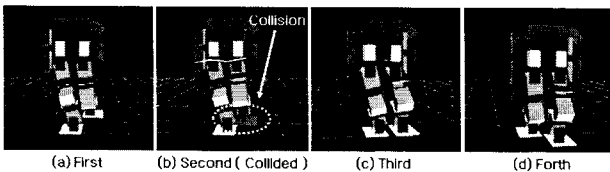
Part A에서의 경우에는 자기충돌이 발생할 확률이 100%이며 Part C에서의 경우에는 0%이므로 굳이 자기충돌을 탐지 할 필요가 없다. 이에 불필요한 계산을 줄여 전체 자기충돌 탐지의 속도를 향상시킬 수 있다.

2.3 시뮬레이션

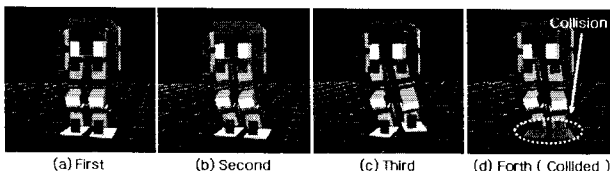
본 시뮬레이터는 Intel(R) Core™2 Quad CPU Q6600 @ 2.400Ghz PC의 환경에서 C++을 사용하여 구현되었다. 간략화 된 모듈 기반의 휴머노이드 로봇의 자기충돌 탐지의 정확성 및 성능의 확인을 위하여 아래와 같이 세 가지 실험을 하고 그 성능을 측정 하였다.

2.3.1 자기충돌 탐지

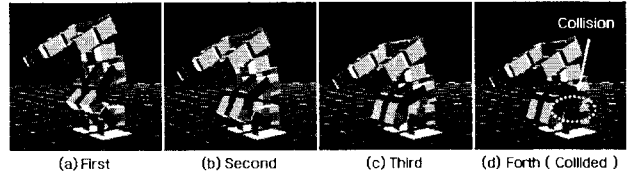
휴머노이드 로봇의 동작 중 자기충돌이 빈번하게 일어나는 경우에는 크게 세 가지 경우가 있다. 걷는 동작, 방향을 바꾸는 동작, 그리고 앉는 동작이다. 걷는 동작에서의 경우, 휴머노이드 로봇은 자신의 모든 체중을 한쪽 다리만으로 지탱해야 한다. 이때, 지탱하는 쪽 다리는 모멘트가 0이 되는 부분에 위치하여야 한다. 이 조건을 만족하기 위한 로봇의 자세에서는 그림 4에서와 같이 양발간의 자기충돌의 가능성이 높다. 그림 5, 6에서와 같이 자기충돌은 걷는 동작에서 뿐만 아니라 방향을 전환하는 동작 그리고 앉는 동작에서도 쉽게 발생 할 수 있다. 그림 5, 6, 그리고 7에서의 시뮬레이션을 통해 자기충돌 알고리즘이 정확히 잘 동작함을 알 수 있었다.



〈그림 5〉 걷는 동작에서의 자기충돌



〈그림 6〉 방향 전환에서의 자기충돌



〈그림 7〉 앉는 동작에서의 자기충돌

2.3.1 성능 측정

휴머노이드 로봇의 실시간 자기충돌 탐지를 위해서는 짧은 자기충돌 탐지 시간의 보장이 필수적이다. 자기충돌 탐지의 성능 측정은 모듈 거리 필터링 (MDF)이 제외된 경우와 적용된 경우, 두 가지의 경우로 나뉘어 이루어졌다. 표 1에서와 같이 MDF가 제외 되었을 경우 10.471msec의 계산 시간이 소요된다. 이는 실시간 동작을 하기는 어려울 정도로 느린 속도이다. 하지만 MDF의 적용 이후 16배 이상의 높은 성능 향상을 확인 할 수 있었다.

〈표 1〉 평균 자기충돌 탐지 시간

모드	시뮬레이션 환경	시간 (msec)
MDF 제외	Intel(R) Core™2 Quad CPU Q6600 @ 2.400Ghz PC	10.471
MDF 적용	Intel(R) Core™2 Quad CPU Q6600 @ 2.400Ghz PC	0.643

3. 결 론

본 논문에서의 휴머노이드 로봇 시뮬레이터에는 간략화 된 모듈 기반의 자기충돌 탐지 알고리즘이 구현 및 적용 되었다. 그리고 자기충돌이 일어나기 쉬운 세 가지 동작에서의 시뮬레이션을 통하여 이 알고리즘의 정확하고 빠른 동작 및 성능을 확인 하였다.

자기충돌 탐지는 시뮬레이터 상에서 뿐만이 아니라 실제 휴머노이드 로봇의 안전한 동작을 위해서도 반드시 필요한 요소이다. 그리고 휴머노이드 로봇의 빠르고 정교한 동작을 위해서는 반드시 빠른 자기충돌 탐지의 성능이 보장되어야 한다. 최근 PC의 성능이 향상됨에 따라 시뮬레이터 내에서의 자기충돌 탐지의 경우 충분한 계산 속도를 얻을 수 있다. 하지만 실제 로봇에서의 자기충돌 탐지의 경우 불충분한 메모리량과 느린 계산 속도로 인해 충분한 계산 능력을 갖추 수 없다. 차후 연구에서는 실제 로봇에 자기충돌 탐지를 내장하기 위한 알고리즘의 개선에 관한 연구를 진행할 것이다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국 건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 첨단융합기술개발사업 [과제번호:06 첨단융합 D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] James J. Kuffner Jr., Koichi Nishiwaki, Satoshi Kagami, Yasuo Kuniyoshi, Masayuki Inaba and Hirochika Inoue, "Self-Collision Detection and Prevention for Humanoid Robots", In Proc. IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2002), pp. 1-6, 2002.
- [2] Brian Mirtich, "V-Clip: fast and robust polyhedral collision detection", ACM Transactions on Graphics, Volume 17, Issue 3, July 1998, pp. 177-208, 1998.
- [3] M. Lin, "Efficient Collision Detection for Animation and Robotics", Ph D thesis, U.C. Berkeley, Dept. of Electrical Eng. and Comp. Sci., Berkeley, CA, 1993.
- [4] S. Cameron, "Enhancing GJK: Computing minimum and penetration distances between convex polyhedra", In Proc. IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation (ICRA '97), pp. 3112-3117, April 1997.
- [5] Vicente Ruiz de Angulo, Juan Cortés and Thierry Siméon, "BioCD : An efficient algorithm for self-collision and distance computation between highly articulated molecular models", Robotics: Science and Systems I, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, June 8-11, pp. 241-248, 2005.
- [6] Itay Lotan, Fabian Schwarzer and Dan Halperin, "Efficient Maintenance and Self-Collision Testing for Kinematic Chains", Proceedings of the eighteenth annual symposium on Computational geometry 2002, Barcelona, Spain, June 05 - 07, pp.43-52, 2002.
- [7] John J. Craig, "Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd Edition)", Prentice Hall, October 12, pp. 30-46, 2003.
- [8] W. Wang, Y-K. Choi, B. Chan, M-S. Kim and J. Wang, "Efficient Collision Detection for Moving Ellipsoids Using Separating Planes", Computing, Volume 72, Numbers 1-2, pp. 235-246, April 2004.