1. Introduction

Civil Engineering에서 로봇의 주된 역할은 인간의 접근이 제한되거나 위험한 상황에서 인간을 대신하여 각종 임무를 수행하는 것이다. 특히나 재난 환경과 같이 환경이 급격하게 변해 예측이 힘든 현장에서 그 중요성은 증대된다. 인력을 대체하기 위해 현재까지 제시되어온 방법으로는 UAV, wheeled robot, legged robot등이 있다. UAV의 경우, 환경에 대한 접근성은 우수하지만, 환경에 직접적인 interaction을 할 수 없다는 한계를 가지고 있다. Wheeled robot은 평지와 같은 특수한 지형에서 기동성이 뛰어나지만, 지형 변화에 대한 적응력이 부족하다는 단점을 가지고 있다. 마지막으로 legged robot은 환경과 직접적인 interaction을 할 수 있을 뿐더러, wheeled robot에 비해 다양한 지형에서 우수한 보행 능력을 가진다. 또한, 재난 환경에서, 대다수 도구 및 장비들을 운용하는 방식이 사람을 기준으로 설계되었기 때문에, 사람과 유사한 매니퓰레이터를 가진 legged robot의 존재는 필수불가결이다. 그러나 legged robot은 그 보행 제어에 있어 복잡성을 가지고 있다. 재난 환경과 같은 복잡하고 거친 환경은, 그 자체가 내재한 위험 요소가 다분하기 때문에 사람이 직접 접근하는 것은 지양하여야 한다. 그러므로 외란에 강인하고, 에너지 효율적인 제어 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완할 수 있는 최적화 기반의 모션 제어 알고리즘을 제안하고자 한다.

1. Related Research

다리형 로봇의 제어는 크게 상위 제어기 및 하위 제어기로, 이 두 가지의 세분화 된 제어 문제로 분류할 수 있다. 상위 제어기는 Cartesian space에서의 desired motion을 생성하고, 하위 제어기는 상위 제어기에서 생성된 Cartesian space상의 motion을 Joint space 궤적으로 변환해주고 그 궤적을 잘 추종하도록 하는 것이다.

* Workspace를 충분히 이용하고, 각종 외란에 강인하려면 Full body dynamics를 고려한 하위제어기를 사용해야 함.

Full body inverse dynamics를 이용하여 하위제어기를 구성하는 연구는 활발하게 이루어지고 있다. 대부분의 [5]~[11]은 Kahtib et al.[4]이 제시한 framework를 기반으로 제어기를 구성하였다.

* Operational space상의 desired motion들의 우선순위를 고려하여, 낮은 순위의 motion을 높은 순위 motion의 Null space에서 생성함으로써 높은 순위의 motion을 구현하는 동시에 이 motion을 위배하지않는 선에서 낮은 순위의 motion을 구현하는 것이다.

[4] O. Khatib, “A unified approach for motion and force control of robot manipulators: The operational space formulation,” Robotics and Automation, IEEE Journal of, vol. 3, no. 1, pp. 43–53, February 1987.

[5] M. Hutter, M. A. Hoepflinger, C. Gehring, M. Bloesch, C. D. Remy, and R. Siegwart, “Hybrid operational space control for compliant legged systems,” in Robotics: Science and Systems (RSS), Sydney, NSW, Australia, July 2012.

[6] M. Hutter, H. Sommer, C. Gehring, M. Hoepflinger, M. Bloesch, and R. Siegwart, “Quadrupedal locomotion using hierarchical operational space control,” The International Journal of Robotics Research, vol. 33, no. 8, pp. 1047–1062, 2014.

[7] A. Herzog, L. Righetti, F. Grimminger, P. Pastor, and S. Schaal, “Balancing experiments on a torque-controlled humanoid with hierarchical inverse dynamics,” in Intelligent Robots and Systems (IROS), 2014 IEEE/RSJ International Conference on, Chicago, IL, USA, Sept 2014.

[8] L. Saab, O. Ramos, F. Keith, N. Mansard, P. Soueres, and J. Fourquet, “Dynamic whole-body motion generation under rigid contacts and other unilateral constraints,” Robotics, IEEE Transactions on, vol. 29, no. 2, pp. 346–362, April 2013.

[9] M. de Lasa, I. Mordatch, and A. Hertzmann, “Feature-based locomotion controllers,” ACM Trans. Graph., vol. 29, no. 4, pp. 131:1–131:10, Jul. 2010.

[10] P. Wensing and D. Orin, “Generation of dynamic humanoid behaviors through task-space control with conic optimization,” in Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on, Karlsruhe, Germany, May 2013, pp. 3103–3109.

[11] L. Sentis and O. Khatib, “A whole-body control framework for humanoids operating in human environments,” in Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference on, Orlando, FL, USA, May 2006, pp. 2641–2648.

Civil Engineering에서 로봇의 주된 역할은 인간의 접근이 제한되거나 위험한 상황에서 인간을 대신하여 각종 임무를 수행하는 것이다. 특히나 재난 환경과 같이 환경이 급격하게 변해 예측이 힘든 현장에서 그 중요성은 증대된다. 인력을 대체하기 위해 현재까지 제시되어온 방법으로는 UAV, wheeled robot, legged robot등이 있다. UAV의 경우, 환경에 대한 접근성은 우수하지만, 환경에 직접적인 interaction을 할 수 없다는 한계를 가지고 있다. Wheeled robot은 평지와 같은 특수한 지형에서 기동성이 뛰어나지만, 지형 변화에 대한 적응력이 부족하다는 단점을 가지고 있다. 마지막으로, legged robot은 환경과 직접적인 interaction을 할 수 있을 뿐더러, wheeled robot에 비해 다양한 지형에서 우수한 보행 능력을 가진다. 또한, 재난 환경에서, 대다수 도구 및 장비들을 운용하는 방식이 사람을 기준으로 설계되었기 때문에, 사람과 유사한 매니퓰레이터를 가진 legged robot의 존재는 필수불가결이다. 그러나 legged robot은 그 보행 제어에 있어 복잡성을 가지고 있다. 재난 환경과 같은 복잡하고 거친 환경은, 그 자체가 내재한 위험 요소가 다분하기 때문에 사람이 직접 접근하는 것은 지양하여야 한다. 그러므로 외란에 강인하고, 에너지 효율적인 제어 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완할 수 있는 최적화 기반의 모션 제어 알고리즘을 제안하고자 한다.

현재까지의 제시된 다리형 로봇은 대부분 그 제어를 크게 High-level controller와 Low-level controller, 두 단계의 제어 문제로 접근한다. High-level controller는 보통 Cartesian space 위에서 로봇 CoM의 desired motion을 생성하거나, 또는 로봇의 발이 있어야 할 장소를 정해주는 등 로봇 전체의 motion에 대한 제어를 담당한다. Low-level controller는 High-level controller에서 생성된 로봇 전체의 desired motion을 각 joint에서의 reference로 변환하고, 이를 잘 추종하도록 한다.

그간 제시된 High-level controller에는 ZMP(Zero-Moment Point) based method, foot placement method 등이 있다. Kajita at al.이 제안한 다리형 로봇에서의 Preview Control과 같이, 로봇의 ZMP 정보와 그 미래 예측 데이터를 사용하는 방법은 (장점)하며

Low-level controller에서, 외란에 강인하고, workspace를 최대한 활용하기 위해서는 Full body inverse dynamics를 이용하는 것이 효과적이라고 생각되어진다. 이 Full body inverse dynamics를 푸는 데에는 보통 QP(Quadratic Programming)이 사용되는데, 다리형 로봇에 존재하는 많은 조인트들 때문에, 그 처리시간이 문제시 되어왔다. 이런 계산 시간을 줄이기 위해, 많은 연구들이 Kahtib et al.[4]이 제시한 hierarchical 방법을 사용하고 있다 [5]~[11]. 또한 Hutter et al.[]과 같이 특정 constraint 하에서 inverse dynamics식을 단순화하여 접근하기도 했다. 본 연구에서는

또한 더욱 향상된 Low-level controller의 성능을 위해 본 연구에서는 Full body

다리형 로봇의 제어는 크게 상위 제어기 및 하위 제어기로, 이 두 가지의 세분화 된 제어 문제로 분류할 수 있다. 상위 제어기는 Cartesian space에서의 desired motion을 생성하고, 하위 제어기는 상위 제어기에서 생성된 Cartesian space상의 motion을 Joint space 궤적으로 변환해주고 그 궤적을 잘 추종하도록 하는 것이다.

- Workspace를 충분히 이용하고, 각종 외란에 강인하려면 Full body dynamics를 고려한 하위제어기를 사용해야 함.

Full body inverse dynamics를 이용하여 하위제어기를 구성하는 연구는 활발하게 이루어지고 있다. 대부분의 [5]~[11]은 Kahtib et al.[4]이 제시한 framework를 기반으로 제어기를 구성하였다.

- Operational space상의 desired motion들의 우선순위를 고려하여, 낮은 순위의 motion을 높은 순위 motion의 Null space에서 생성함으로써 높은 순위의 motion을 구현하는 동시에 이 motion을 위배하지않는 선에서 낮은 순위의 motion을 구현하는 것이다.