

인간 움직임 시뮬레이션을 위한 최적화 기준 탐구

유리⁰, 이제희
 서울대학교 컴퓨터공학부
 (yul85yr, jehee)@mrl.snu.ac.kr

Finding Optimization Criteria for Human Locomotion Simulation

Ri Yu⁰, Je-Hee Lee
 Dept. of Computer Science and Engineering, Seoul National University

요약

컴퓨터 그래픽스에서 인간의 움직임을 재현해내는 연구는 끊임없이 발전해왔고 마침내 근골격 모델을 사용한 사람 이족보행 시뮬레이션이 가능해졌다. 모델이 복잡해짐에 따라 최적화 기법을 사용하기 시작했고, 최적화에 어떤 기준을 적용해야 가장 인간과 비슷한 움직임을 재현할 수 있는가에 대한 문제가 대두되었다. 운동학적 정보뿐만 아니라 에너지 소모량도 만족하는 기준을 찾기 위해, 근육 활성화도, 관절 돌림힘 두 가지 기준에 따른 최적화를 실행하여 시뮬레이션을 실행하였다. 결과적으로 운동학 그래프를 분석했을 때는 큰 차이가 없었으나 에너지 소모량에서 차이를 보였다.

1. 서론

최근 근골격 모델을 사용하여 사람의 움직임을 시뮬레이션 하는 컨트롤러가 가능해졌다[1]. 이를 가상 수술과 같은 정교한 프로그램에 응용하려면 사람의 메커니즘을 따르는 시뮬레이션이 가능해야 한다. 즉, 단지 보이는 것만 그럴싸한 것이 아니라 실제로 사람처럼 움직여야 한다는 것이다. 우리는 운동학적으로 사람과 흡사한 것과 함께 에너지 소모량도 사람과 같아야 한다는 조건을 만족하는 최적화 기준을 원한다. 아직까지 사람의 메커니즘에 대하여 정확히 밝혀지지 않았다. 연구자들이 인간의 움직임에 관여할 것이라고 주장하는 기준들은 근육 활성화도(muscle activation), 관절 돌림힘(joint torque) 등이다. 우리는 이 두 가지 기준을 적용하여 시뮬레이션을 해보고, 그 결과를 운동학적 관점과 에너지 소비적 관점에서 분석해 보았다.

2. 방법

2.1. 다근육 제어기(many-muscle controller)

우리는 Lee가 발표한 다근육 제어기와 시뮬레이터를 사용하였다[1]. 그들은 근골격 모델을 사용하였는데, 이 근골격 모델을 견제 하기 위하여, 근육 수축 역학(muscle contraction dynamics)과 이차계획법(quadratic programming)을 사용하였다.

2.2. 실험 기준

우리는 근육 활성화도와 관절 돌림힘을 최소화시켜 최적화를 실행하였다. 최적화 식은 다음과 같다. a 는 근육 활성화도를 의미하고 τ 는 관절 돌림힘을 의미한다.

$$\text{근육 활성화도} \quad \text{argmin}_a \|a\|^2 \quad (1)$$

$$\text{관절 돌림힘} \quad \text{argmin}_\tau \|\tau\|^2 \quad (2)$$

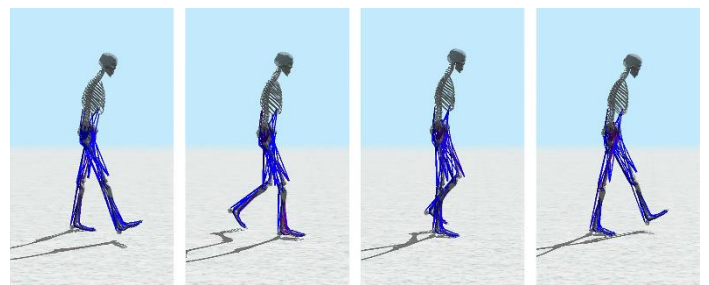


그림 1 : 시뮬레이션 결과

3. 결과

근육 활성화도, 관절 돌림힘을 각각 최소화하여 실험을 한 후에, 그 결과들을 서로 비교하였다. 우선 두 가지

* 구두(포스터) 발표논문

* 이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0018340 and No. 2007-0056094)

경우에 대해 각 관절마다 운동학 그래프를 그려보았으나 두드러지는 차이가 없었다.

그러나 에너지 소모량에서는 확연한 차이를 보였다. 시뮬레이션 결과, 단위거리당 소모하는 에너지가 근육 활성도의 경우에는 대략 150cal/m, 관절 돌림힘의 경우 180cal/m 이었다. 에너지 소모량이 더 많다는 것은 근육들이 힘을 더 많이 낸다는 의미이므로, 우리는 각 근육의 근육 활성도에 주목하였다. 특히, 한 관절에 대해 반대 작용을 하는 근육들이 서로 동시에 작용하는 현상인 근육 동시활성화(muscle co-activation)에 의해 서로 상쇄되는 에너지에 주목하였고, 이 동시 활성도를 측정해 보았다. 그림 2 은 세 가지 경우에 대해, 보행 한 주기 동안 전경골근(anterior tibialis, 초록 선)과 측면 비복근(lateral gastrocnemius, 파란 선)의 근육 활성도(왼쪽 열)와 동시활성화 정도(오른쪽 열, 빨간 선)를 그래프로 나타낸 것이다. 동시 활성화 정도는 두 근육의 근육 활성도 중 최솟값을 취하는 것으로 표현했다.

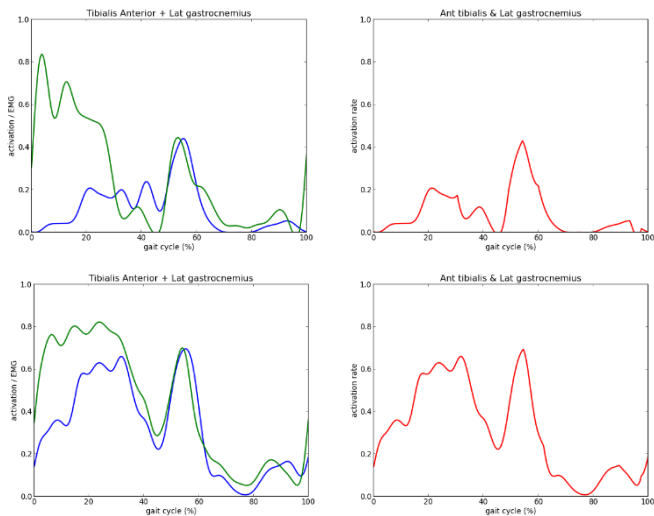


그림 2 : 근육 활성도 그래프

첫 번째 행은 근육 활성도, 두 번째 행은 관절 돌림힘을 최소화한 결과이다. 오른쪽 열을 보면 근육 활성도를 최소화한 경우가 근육 동시활성도가 작고, 관절 돌림힘은 큰 것을 관찰할 수 있다. 이는 에너지 소모량의 순서와 일치한다. 근육 동시활성도가 높을수록 소모하는 에너지가 더 크다는 것을 알 수 있다.

실제 사람에게서는 근육 동시활성화가 일어난다. 이는 외력에 대비하기 위하여 여분의 에너지를 더 내고 있는 것이다. 그러나 근육 활성도를 최소화한 경우는 사람이 완전 힘을 빼고 있는 상태를 의미하기 때문에 이는 사람의 움직임에 적합한 기준이라 할 수 없다. 관절 돌림힘의 경우는 근육 각각이 발생시키는 에너지는 고려하지 않고 결과적으로 관절에 걸리는 힘만을

최소화하기 때문에, 우연히 여분의 에너지가 발생하는 것이다. 따라서 이 경우도 적절한 기준은 아니다.

4. 결론

지금까지 근육 활성도와 관절 돌림힘, 두 가지 기준을 최소화하여 시뮬레이션을 하고, 그 결과를 분석해 보았다. 각 기준마다 운동학적으로 관찰했을 때는 서로 비슷한 결과를 보였다. 그러나 에너지 소모량에서는 차이를 보였다. 향후 연구에서는 이 결과들을 실제 사람의 데이터와 비교 대조하여 분석할 예정이다.

여러 연구자들이 인간의 움직임을 제어한다고 믿는 또 하나의 기준은 대사 에너지 비용(metabolic energy expenditure)이다[2, 3]. 그러나 Wang[3] 이 사용한 대사 에너지 비용 모델은 비선형이기 때문에 이차 계획법으로 풀기가 어려운 문제점이 있다. 앞으로 본 연구에 사용한 기준 외에도 대사 에너지 비용이나 근육 피로도[4] 등 다른 기준들을 사용하여 실험해 보고, 이 기준들 간 최적의 조합을 찾기 위한 연구를 계속 할 예정이다.

참고문헌

- [1] Yoonsang Lee, Moon Seok Park, Taesoo Kwon, and Jehee Lee. Locomotion control for many-muscle humanoids. *ACM Transactions on Graphics*, 33(6), 2014.
- [2] Anderson, F. C., and Pandy, M. G. Dynamic optimization of human walking. *Journal of Biomechanical Engineering*, 123, 5, 381–390, 2001.
- [3] Wang, J. M., Hammer, S. R., Delp, S. L., and Koltun, V. Optimizing locomotion controllers using biologically-based actuators and objectives. *ACM Transactions on Graphics*, 31(4), 2012.
- [4] Ackermann M, van den Bogert AJ. Optimality principles for model-based prediction of human gait. *J. Biomechanics*, 43(6), 2010.