

신발테스트용 로봇의 동적 특성에 관한 모델링

탁계래*(건국대 의학공학부), Gerald Cole(Human Performance Lab., Univ. of Calgary),
Benno Nigg(Human Performance Lab., Univ. of Calgary)

Modeling of Dynamics of Robot for Shoe Testing

G.R. Tack*(Biomedical Eng. Dept. Konkuk Univ.), G. Cole(Human Performance Lab., Univ. of Calgary),
B. Nigg(Human Performance Lab., Univ. of Calgary)

ABSTRACT

The robotic shoe testing system that mechanically simulates human motion was proposed to overcome the problems associated with human subject tests. The objective of this study is to predict new motion trajectory for robot that will produce similar force and moment of particular human motion. In order to solve this problem, it is imperative to understand the dynamics of robot for shoe testing. The methodology using parameter estimation technique was proposed for this problem. Since the dynamics of robot is certainly different from that of human, it is necessary to adapt/modify the robot's trajectory for future analysis, which is currently under investigation.

Key Words: Robot for shoe testing, Dynamics, Modeling, Parameter estimation

1. 서론

현재 대부분의 신발 설계는 인간을 대상으로 하여 여러 가지 다양한 종류의 동작 실험을 이용하여 신발의 성능 테스트를 통하여 이루어지고 있는 실정이다. 하지만 여기에는 많은 문제점을 내포하고 있다. 예를 들어 같은 실험자의 여러 실험간의 차이점, 같은 동작의 실험 시 여러 실험자간의 차이점 등은 어떤 표준화된 신발을 개발하는 데에 많은 시간과 경비를 필요로 하게 된다. 그래서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 인간의 동작을 기계적으로 모사할 수 있는 신발테스트용 로봇이 제안되었다 [1, 2]. 현재 상용화된 Stewart platform 은 3 축 방향으로 선형운동과 회전운동이 동시에 가능한 6 자유도를 가진 로봇이다. 현재까지 이러한 신발테스트용 로봇의 가장 큰 문제점은 특정한 인간의 동작에 따라서 발생하는 힘과 모멘트가 로봇에서 측정되는 것과 인간의 경우와 상이하다는 것이다.

그래서 본 연구에서는 특정한 인간의 동작에 따라 발생하는 힘과 모멘트를 그대로(유사하게) 나타낼 수 있는 신발테스트용 로봇의 새로운 동작을 예측하고자 하는 것이다. 이를 위해서는 신발테스트

용 로봇의 동적인 특성을 이해하는 것이 우선 되어야 할 것이다. 시스템의 동적 특성을 파악하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 입력과 출력에 기초한 시스템적인 접근방법을 이용하고자 한다. 또한 신발테스트용 로봇의 동적 특성을 나타내는 요소로는 로봇 자체의 동적 특성, 신발의 특성, 표면의 특성 등이 있다. 이렇게 많은 특성을 지녔기에 전체 신발테스트용 로봇 시스템의 동적 특성을 나타낼 수 있는 시스템의 구조를 파악하는 것은 매우 어려운 현실이다. 여러 가지 다양한 시스템 접근방법이 있으나 본 연구의 특성에 부합하는 방법은 구조적 분석방법(structural identification)보다는 기능적 분석방법(functional identification)을 이용하는 것이라 판단된다. 기능적 분석방법에도 여러 가지가 있으나 로봇이 가지는 다중 입력, 다중 출력의 구조적 문제와 인간의 동작이 가지는 여러 특성을 고려해 볼 때 본 연구에서는 파라미터 추정법(parameter estimation)을 이용하여 신발테스트용 로봇의 동적 특성을 모델링하려고 하였다. 이러한 특성분석을 통하여 특정한 인간의 동작에 따라 발생하는 힘과 모멘트를 인간의 경우와 유사하게 나타낼 수 있는 새로운 로봇의 궤적을 계산하고자 하

는 것이 본 연구의 목표이다.

2. 방법

Leontaritset et al. [3]은 다양한 종류의 비선형 시스템의 동적 특성을 나타내는 방식으로 NARMAX (Nonlinear Autoregressive Moving Average with exogenous inputs)를 제안하였다. 그들은 시스템의 출력을 과거의 시스템의 입력과 출력 그리고 오차 항목으로 표시할 수 있다는 것을 보여주었다. 또한 이 식은 다중입력과 다중출력의 경우로 확장될 수 있고, 함수 F를 선형으로 선택하면 ARMAX모델로 단순화 시킬 수 있다.

$$y(n) = F[x(n), x(n-1), \dots, x(n-n_x), y(n-1), \dots, y(n-n_y), e(n-1), \dots, e(n-n_e)] + e(n)$$

where F: any nonlinear function, usually polynomials
 y: output
 x: input
 e: prediction error
 n_x, n_y, n_e : delay terms for each signal

본 연구에서는 입력은 3개의 선형운동변수(x, y, z축 좌표)와 3개의 회전운동변수(roll, pitch, yaw 각도)로 총 6개로 구성이 되었고, 출력은 x, y, z 방향에서 측정된 힘과 계산된 모멘트로 역시 총 6개로 구성이 되었다. NARMAX모델인 경우 함수 F는 2차 다항식을 이용하였고, ARMAX모델인 경우 함수 F는 1차식을 이용하였다. 각 신호의 지연항목들(n_x, n_y, n_e)은 충분히 길게 하여 전체 시스템의 특성 파악시 지장이 없도록 하였다 [4].

위의 문제를 푸는 방법은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 Korenberg et al. [5]이 제안한 방법을 이용하였다. 이 방법은 다중 입력과 다중 출력을 쉽게 처리할 수 있고, 여러 가지 항목들 가운데서 시스템에 영향을 미치는 항목을 쉽게 선택할 수 있는 장점이 있다. 모든 과정은 MATLABTM, Microsoft Visual C++TM를 이용하여 개발되었고, 로봇의 핸들링은 Parasol6TM를 이용하여 이루어졌다.

3. 결과

그림 1, 2는 실험 대상자로부터 측정된 동작을 수정없이 그대로 로봇에 주었을 때 로봇으로부터 측정된 x, y, z 방향의 힘과 원래 실험 대상자로부터 측정된 3축 방향의 힘을 나타낸 것이다. 인간의 동작시 동적 특성과 로봇의 경우와 많이 틀리므로 이렇게 상이한 결과를 보이는 것은 당연한 것이라

할 수 있다.

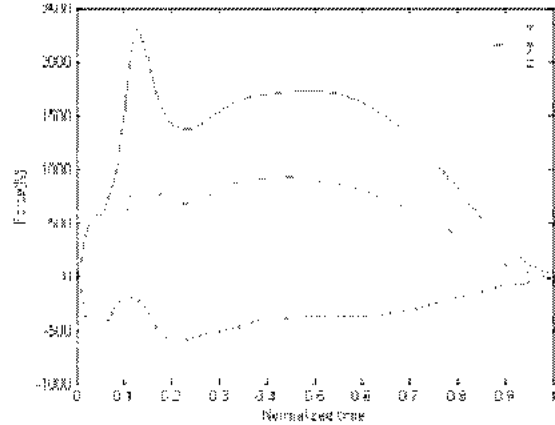


Fig. 1 Measured forces from human subject experiment

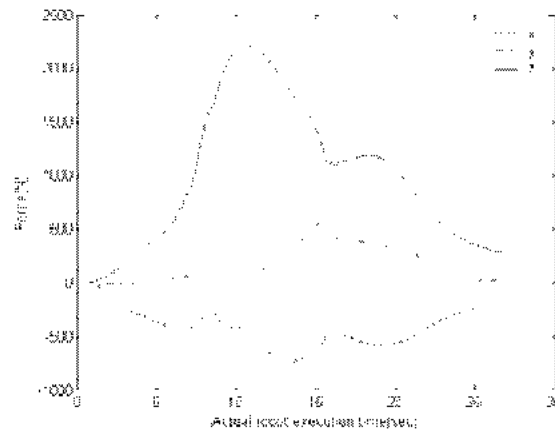


Fig. 2 Measured forces from robot using original human motion trajectory

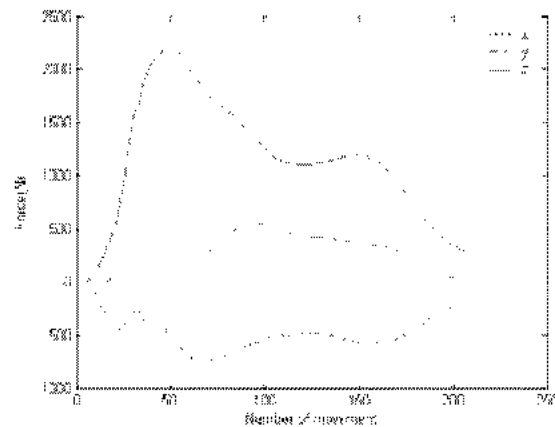


Fig. 3 Measured forces from robot with modified motion trajectory using proposed algorithm

그림 3 은 본 연구에서 제안된 방법에 의하여 새롭게 예측된 궤적을 이용하여 로봇으로부터 측정된 x, y, z 방향의 힘을 나타낸 것이다. 그림 1 의 경우와 비교해 보면 많은 부분이 향상된 것을 알 수 있다.

4. 결론

특정한 인간의 동작 수행시에 발생하는 힘과 모멘트를 신발테스트용 로봇에서 유사하게 나타낼 수 있는 새로운 동작의 궤적을 예측할 수 있는 방법이 본 연구에서 제안되었다. 이 방법은 파라미터 추정법의 하나인 ARMAX/NARMAX 를 이용하여 모델링되었다. 인간의 동작시 동적 특성은 로봇의 경우와 많이 틀리므로 아직도 연구해야 할 부분은 많이 남아있지만, 예비 연구의 결과로 이 방법의 타당성이 보장되었다.

후 기

본 연구는 저자가 건국대학교 연구년 기간 동안 캐나다 Univ. of Calgary 에서 독일 ADIDAS 사의 지원에 의해 수행된 논문입니다.

참고문헌

1. P. Goldsmith, "Design of a Robot for Sport Shoe Testing," Annual Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Singapore, pp. 6-13, 1998
2. K. G. Chrystall, S. P. Monckton, et al., "Motion Platform and Method of Use," United States Patent No. 6,581,437, 2003
3. I. J. Leontaritis, S. A. Billings, "Input-output parametric models for nonlinear systems," Int. J. Control, Vol. 41, pp. 303-328 (a), pp. 329-344 (b), 1985
4. G. R. Tack, G. Cole, and B. Nigg, "NARMAX and ARMAX representation of dynamics of robot for shoe testing," 14th Biennial Conference of Canadian Society of Biomechanics, Halifax, pp. 113, 2004
5. M. J. Korenberg, et al., "Orthogonal parameter estimation algorithm for nonlinear stochastic systems," Int. J. Control, Vol. 48, pp. 193-210, 1988