

앉은 자세에서의 균형상실 검출 성능 향상을 위한 앉고리잡의 최적화

Optimized Design Values for the Improved Detecting Performance of a Loss of Balance In Sitting Posture

*김광훈¹, 김인수¹, 고병규¹, #손권²

*K. H. Kim¹, I. S. Kim¹, B. K. Ko¹, #K. Son(kson@pusan.ac.kr)²
¹ 부산대학교 기계설계공학과, ² 부산대학교 기계공학부

Key words : Loss of balance, Optimization, Detection, internal model, control error anomaly, objective function

1. 서론

노령층에서 발생하는 낙상은 공중 보전에서 매우 중요한 문제로 인식된다. 이는 고령층의 낙상이 골절과 심리적 불안, 활동 장애 등을 동반하여, 사람이 독립적으로 활동하지 못하게 만드는 심각한 문제로 발전하기 때문이다¹. 일반적으로 낙상이 일어나기 전 먼저 인체에서는 균형을 잃게 되며, 무너진 균형을 회복하거나 넘어지지 않기 위한 보상운동이 일어난다. 여기서 균형상실(loss of balance, LOB)은 물리적, 기계적, 감각적인 부분이 통합되어 있어 원인을 직접적으로 찾아내기 어렵다. 따라서 지금까지의 대부분 낙상검출은 보상운동 발생 여부를 검출하는 방법적 문제로 접근하였으나, 낙상에 대한 검출 성공률(success rate, SR)이 낮다는 문제점을 가지고 있다². 최근에는 보상운동과는 관계없이 운동 제어신호를 예측하여 균형의 상실여부를 판별하여 낙상을 예측하는 방법과 같이 새로운 개념의 낙상검출 방법들이 연구되고 있다³. 균형상실을 검출하는 방법은 낙상이 발생하는 다양한 경우에 대해 적용할 수 있는 내부 모델과 제어 예측 변수들을 선정하는 것이 어렵다는 단점이 있다.

균형상실을 검출하는 방법과 보상운동을 검출하는 방법의 큰 차이 중 하나는 검출대상이다. 균형상실이 보상운동보다 먼저 발생하기 때문에 일반적으로 보상운동을 검출하는 방법보다 균형상실을 검출하는 방법이 낙상을 검출하는데 효과적이다. 그러나 기존 균형상실을 검출하는 알고리즘의 내부 변수 및 그 값을 선정하는 방법이 연구자의 임의로 결정한 것이다. 따라서 본 연구에서는 검출 알고리즘의 내부 변수 선정 및 변수값의 최적화를 통하여 검출 성능을 향상시키고자 한다.

2. 균형상실 검출 알고리즘

중추신경계는 낙상의 위험을 감지하면 낙상이 발생을 저지하거나 낙상 후 상해를 최소화하기 위해 운동에 필요한 근육들에게 제어 신호를 보낸다. 그러나 중추신경계에서 낙상의 위험을 감지하고 판별하는 과정이나, 이에 대해 적절히 대응할 제어 신호를 발생하는 것은 일반적으로 외부에서 육안으로 확인하기 어렵다. 중추신경계가 어떤 임의의 동작에 대해 적합한 제어 신호를 사용하고, 여러 감각 기관을 통해 전달되는 신호 중 낙상에 관련된 신호를 선별하며, 그 신호를 분석하여 낙상의 위험을 판별하는 일련의 과정은 내부에서 매우 복잡하게 발생하는 것으로 그 모든 일련의 과정을 똑같이 재현하는 것 역시 매우 어려운 작업이다. 그러나 단일입력 단일출력 시스템으로 구성된 단순한 운동에 대하여 중추신경계 내부에서 진행되는 과정을 간략화하여 외부적으로 구성할 수 있다.

중추신경계의 내부에서 진행되는 과정을 크게 세 가지로 나누면 임의의 목적된 동작을 위한 제어 신호를 발생시키는 과정과 감각 기관들을 통하여 신체의 운동과 평형상태 및 주위 환경의 데이터를 수집하는 과정, 신체의 상태가 균형을 이루고 있는지를 판별하는 과정으로 나눌 수 있다. 기존 연구에서는 이러한 내부 과정을 외부에서 예측하는 시스템을 구성하였는데, 이 시스템에서 임의의 목적된 동작을 위한 제어 신호의 예측을 위해 근사화된 내부 모델을 사용하였고, 제어 신호에 대한 운동에 대한 자료는

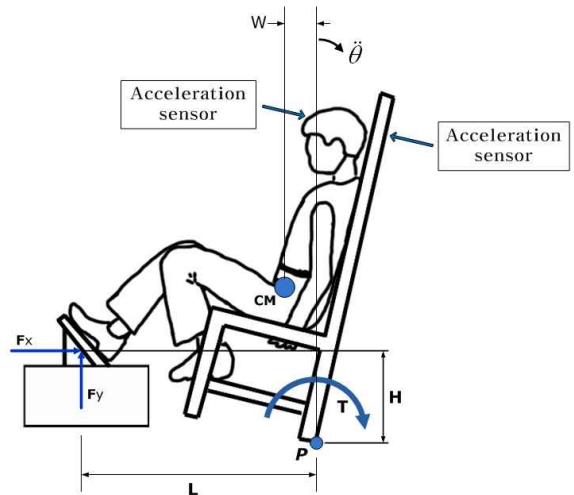


Fig. 1 The outline diagram of the balancing task in sitting

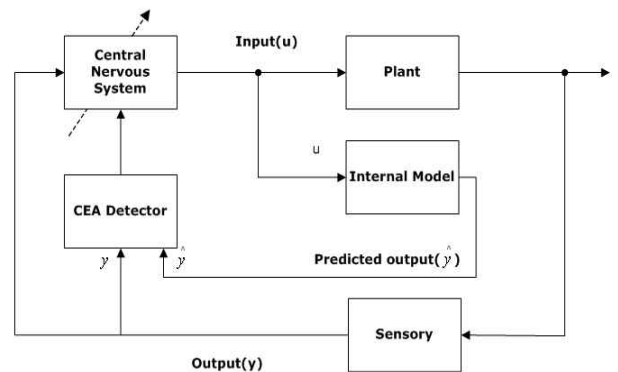


Fig. 2 Schematic block diagram of the detection algorithm of LOB

영상처리 기법을 이용하여 얻었다. 또한 균형상실 여부를 판별하기 위해 이례적으로 큰 제어오차를 검출하는 방법을 사용하였다. 구성된 시스템을 통한 낙상 예측 효과를 확인하기 위해 의자를 이용한 균형 잡기 실험을 실시하였다.

의자의 균형 잡기 실험은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 피실험자가 의자에 앉은 후 발을 밀어 의자를 뒤로 기울이면서 의자의 뒷다리로 균형 상태를 최대 10초 동안 유지하는 실험이다. 기본적인 균형 작업은 제어기, 플랜트, 출력 신호의 피드백, 이렇게 세 가지 요소를 가지는 피드백 제어모델로 단순화하여 표현할 수 있다. 여기서 제어기는 중추신경계 중 특히 소뇌를, 플랜트는 실험 장치들을 각각 의미하며, 피드백은 인체의 전정 감각(vestibular)과 시각 혹은 체성 감각(somatosensor)들을 통해 이뤄진다. 이 모델을 보다 자세히 묘사하면 Fig. 2와 같다. 여기서는 크게 센서를 통해 입력 값과 출력 값을 처리하는 데이터 처리부, 발반력(ground reaction force, GRF)을 이용해 운동제어에 필요한 가속도를 예측하는 내부 모델 구성부, 제어오차에서 이례적으로 큰 값(control error anomaly, CEA)이 검출되는지를 확인하는 검출

부 세 부분으로 나눌 수 있다.

먼저 중앙 제어기인 중추신경계에서 입력신호를 보내면 다리를 통해 인체와 의자가 함께 움직이게 되고, 이 때 의자의 움직임을 센서를 통하여 의자의 가속도(y)를 얻을 수 있다. 입력신호로는 힘판(force plate)에 작용하는 발반력이다. 센서를 통하여 얻은 의자의 가속도와 내부 모델에서 제어하고자하는 예측값으로 제시한 가속도(\hat{y})와의 차이를 제어오차로 계산하게 된다. 제어오차 중에 이례적으로 큰 값을 검출기를 통하여 확인하게 된다.

3. 변수 선정 및 최적화

설계변수들은 크게 내부 모델 구성을 위한 변수와 이례적으로 큰 제어오차를 검출하는 3-시그마법을 적용하기 위한 변수로 나눌 수 있다. 내부 모델 구성에 관계된 변수는 S1, h1, hd이고, 3-시그마법 구성과 관계된 변수는 S2, h2, hd이다. 여기서 hd는 균형상실 검출 알고리즘을 실행하는 주기로 두 그룹에 모두 관계된 변수이다(Table 1). 본 연구에서는 두 가지 그룹 중 일반적인 3-시그마법은 변화시키지 않고, 내부모델을 구현하는 변수들에 대하여 최적화를 실시하였다.

Table 1 Design variables and conventional values of LOB detection algorithm

Name	Mean	Value(sec)
S1	Time interval for identifying internal model	2
S2	Time interval for operating 3-sigma method	2
h1	Moving shift of the threshold of S1	0.1
h2	Moving shift the threshold of S2	0.1
hd	Operating period of the LOB algorithm	0.1

내부 모델을 구성하는데 직접적인 역할을 하는 것은 그 구성을 위해 필요한 데이터구간(S1)과 그 구간이 움직이는 간격(h1), 그리고 검출주기(hd)가 된다. 각 변수들에 대해 앞 절에서 확인한 의미있는 구간에서 가장 우수한 검출 성능을 가지는 값들을 결정하였다. 검출 성능 평가항목인 검출 성공률과 여유시간을 이용하여 최적화를 위한 목적함수를 다음 식과 같이 구현할 수 있다.

$$OBJ = \frac{SR}{100} \times w_s + \frac{MT}{2} \times w_m \quad (1)$$

여기서 w_s 와 w_m 은 각각 검출 성공률과 여유시간에 대한 가중값이다. 여기서 사용된 검출 성공률 SR값과 여유시간(margin time, MT)값을 사용하였다. MT는 실제 보상운동이 발생한 시점을 기준으로 그 이전에 검출된 균형상실 시점을 의미한다.

변수의 최적값을 찾기 위해 설정한 변수의 범위를 Table 2에 나타내었으며, 최적 설계된 결과를 기존 설계값과 비교하여 Table 3에 나타내었다. 설계 범위는 앞 절에서 개별 변수에 대한 결과를 반영한 것이다. 기존 모델에 대해서는 내부 모델을 구성하는 크기가 5.0이고, 그 변동범위가 0.1, 검출 주기가 0.1일 때 가장 좋은 값이 나왔다. 최적화된 변수값을 사용한 경우 실제 검출 성공률이 9.3 % 상승하는 효과를 가져왔으며, 여유시간은 172 ms 만큼 더 빨리 검출할 수 있었다. 특히 여유시간의 경우 보상운동 이전의 시간이므로 낙상을 예방하기에는 충분한 시간으로 여겨진다.

Table 2 Ranges and optimized values of design variables

Variables	Design range	Optimized value	Previous value
S1	0.1 ~ 6.0	5.0	2.0
h1	0.1 ~ 0.5	0.1	0.1
hd	0.1 ~ 0.5	0.1	0.1

Table 3 Comparison of the optimized design value with the conventional design value

	Optimized design	Previous design
Objective function value	0.646	0.557
SR(%)	96.7	87.4
MT(sec)	0.651	0.479

본 연구에서는 검출 성공률과 여유시간을 같은 비중으로 두고 평가하여 최적화를 실시하였다. 그러나 낙상방지를 위한 시스템 개발 등 필요에 따라서 검출성공률 혹은 여유시간 한 쪽에 더 많은 가중 값을 두고 최적화를 실시할 수도 있다.

4. 결론

기존 연구에서는 각 변수들이 의미하는 바와 설계변수로서의 특성을 분석하지 않았으며, 최적화 작업을 통해 검출 성능을 향상시키는 작업이 부족하였다. 본 연구에서는 균형상실 알고리즘을 이용하여 내부 변수를 규명하고, 변수들 중 내부 모델을 구성하기 위해 사용되는 변수들에 대하여 최적화를 실시하였다. 여기서 균형상실 검출 알고리즘의 성능을 평가할 수 있는 항목을 선정하고 최적화를 위한 목적함수를 제안하였다. 내부 모델을 구성하는 변수들만 변화시켰을 때 내부 모델을 구성하기 위해 필요한 데이터를 직접적으로 선택하는 변수인 S1에 대해 검출 성능이 가장 민감하게 반응하였다. 향후 3-시그마법을 구현하기 위한 변수들과 다양한 내부 모델들에 대해 최적화 방법을 적용하여 전체 검출 시스템의 성능을 향상시키는 방향을 다각도로 살펴볼 필요가 있다.

후기

본 연구는 한국학술진흥재단 2009년 일반연구지원사업(과제번호 2009-0074461)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- Sadigh S., Reimers A., Andersson R., and Laflamme L., "Falls and Fall-Related Injuries Among the Elderly: A Survey of Residential-Care Facilities in a Swedish Municipality," J Community Health, pp. 129-140, 2004.
- Noury N., Rumeau P., Bourke A. K., O'Laighin G., and Lundy J. E., "A Proposal for the Classification and Evaluation of Fall Detectors," Elsevier Masson France IRBM, Vol. 29, pp. 340-349, 2008.
- Ahmed A. A., and Ashton-Miller J. A., "Is a Loss of Balance a Control Error Signal Anomaly? Evidence for Three-sigma Failure Detection in Young Adults," Gait and Posture, Vol. 19, pp. 252-262, 2004.