

내부 모델의 재구성에 의한 균형상실 검출성능 개선

Improvement of the Detection of LOB through Reconstruction of an Internal Model

김 광 훈, 박 정 홍, 손 권*
(Kwang-Hoon Kim¹, Jung-Hong Park¹, and Kwon Son¹)

¹Pusan National University

Abstract: Many researchers have tried to detect the falling and to reduce the injury associated with falling. Normally the method of detection of a loss of balance is more efficient than that of a compensatory motion in order to predict the falling. The detection algorithm of the loss of balance was composed of three main parts: parts of processing of measured data, construction of an internal model and detection of the loss of balance. The internal model represented a simple dynamic motion balancing with two rear legs of a four-legged chair and was a simplified model of a central nervous system of a person. The internal model was defined by the experimental data obtained within a fixed time interval, and was applied to the detecting algorithm to the end of the experiment without being changed. The balancing motion controlled by the human brain was improved in process of time because of the experience accruing to the brain from controlling sensory organs. In this study a reconstruction method of the internal model was used in order to improve the success rate and the detecting time of the algorithm and was changed with time the same as the brain did. When using the reconstruction method, the success rate and the detecting time were 95 % and 0.729 sec, respectively and those results were improved by about 7.6 % and 0.25 sec in comparison to the results of the paper of Ahmed and Ashton-Miller. The results showed that the proposed reconstruction method of the internal model was efficient to improve the detecting performance of the algorithm.

Keywords: reconstruction method, loss of balance, detection, internal model

I. 서론

일반적으로 인체는 낙상이 일어나기 전에 균형을 잃게 되며, 무너진 균형을 회복하거나 넘어지지 않기 위한 보상 운동이 일어난다. 보상운동이 성공하면 균형 상태를 계속적으로 유지하게 되지만 실패하게 되면 낙상이 발생하게 된다. 노인이나 신경계 등에 질병이 있는 환자의 경우 보상운동이 늦게 발생하거나 보상운동을 미처 하지 못하는 경우가 많아 특히 낙상 위험성이 높다. 게다가 노령층에서 발생하는 낙상은 골절유발 및 동반된 휴유증으로 정상적인 활동을 제한할 뿐 아니라 급격한 기력 저하로 사망에까지 이르는 심각한 요인이 되고 있다[1].

낙상의 시작점인 균형상실(LOB: Loss of Balance)은 물리적, 기계적, 감각적인 부분이 통합되어 있어 그 발생 시점을 정확하게 찾아내기 어렵다. 이러한 이유로 지금까지 대부분의 낙상검출은 보상운동을 검출함으로써 균형상실을 예측하고자 하였으며 이 방법들은 이미 진행 중인 낙상을 검출하는 것이어서 낙상을 예측하는 것에는 한계가 있다[2-4]. 균형상실은 신체가 실질적으로 급속히 낮은 곳으로

떨어지기 시작하는 시점에 발생하였거나 그 이전에 발생했던 것으로 추정할 수 있다. 보상운동은 눈으로 확인가능한 것이어서 그 발생여부로 낙상을 판별할 수 있으나, 균형상실 여부는 눈으로 확인할 수 없다. 따라서 많은 연구들이 머리, 어깨, 허리, 손목 등 신체의 특정부위의 속도와 가속도에 대한 특정값 혹은 범위를 균형상실 또는 보상운동의 발생을 판별하는 기준값으로 제시하고 있다[2-4]. 그러나 이러한 값들은 엄격히 보상운동의 발생 여부를 판별하는 것이므로 균형상실을 예측하는 것이라고 보기 어렵다.

이를 극복하기 위해 최근에는 일상생활 중의 운동자료를 지속적으로 모니터링하여 DB화하고, 그것으로 피실험자의 이상 운동을 규명함으로써 넘어짐을 예측하는 연구들이 진행되고 있다[5,6]. 이 가운데 Ahmed와 Ashton-Miller[5]는 균형상실 후 발생하는 보상운동과는 관계없이 운동 제어신호를 이용하여 균형상실 여부를 판별하는 새로운 개념의 낙상검출 방법을 제안하였다.

Ahmed와 Ashton-Miller가 제시한 이 알고리즘은 균형상실이 보상운동 발생 이전에 검출됨으로써 균형상실 검출이 낙상을 예측하는 효과가 있음을 보였다. 그리고 균형상실의 예측효과를 검증하기 위하여 알고리즘의 성공률과 보상운동에 대한 균형상실의 검출 시간을 평가하였다. Ahmed와 Ashton-Miller가 제안하고 있는 균형상실 검출 알고리즘에서 가장 중요한 것은 중추신경계(CNS: Central Nervous System)에 대한 모델링 부분인 내부 모델 구성부이다. 중추신경계의 내부적 작동 상태를 유추하기 위하여 단일 입출력관계

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 6. 10., 수정: 2010. 7. 12., 채택확정: 2010. 7. 20.

김광훈: 부산대학교 기계기술연구원(flyworld7@gmail.com)

박정홍, 손권: 부산대학교 기계공학부

(zhenghong93@gmail.com/kson@pusan.ac.kr)

※ 본 논문은 한국학술진흥재단 일반연구지원사업에서 지원하여 연구하였음(과제번호 2009-0074461).

를 가지면서 1자유도를 가지는 의자의 뒷다리로 균형을 잡는 실험을 실행하였다.

여기에서 중추신경계의 내부적 운동을 수학적으로 간략화한 내부 모델의 선택이 낙상을 검출하는데 큰 영향을 미친다. 이 연구에서는 균형 작업 중인 상태에서 발생하는 실험데이터 중 2초 동안의 데이터를 이용하여 선형화된 내부 모델을 구성하였다. 구성된 내부 모델은 동일 피실험자가 실험이 끝날 때까지 검출 알고리즘에 동일하게 적용된다.

그러나 일반적으로 사람이 균형을 잡기 위해 자세를 제어할 때 각 감각기관으로 제어신호를 보내게 되고, 그 신호에 대한 신체 운동 경험이 중추신경계에 쌓이게 되어 점차 균형 잡는 것이 능숙하게 된다. 이러한 점을 고려해볼 때 중추신경계를 간략화한 내부 모델 역시 중추신경계와 같이 시간에 따라 모델을 새롭게 재구성할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 Ahmed와 Ashton-Miller가 제안하고 있는 균형상실 검출 알고리즘을 토대로 검출 성공률을 높이고 검출 시간을 보다 앞당기기 위한 내부 모델 재구성법을 제시하였다. 본 연구에서 말하는 내부 모델 재구성법은 시간에 따라 센서들을 통하여 얻어지는 데이터를 이용하여 내부 모델을 갱신함으로써 새롭게 재진하는 방법이다. 그리고 본 연구에서 제안한 내부 모델 재구성법이 검출 알고리즘의 성능에 끼치는 영향을 규명하기 위하여 알고리즘의 검출 성공률과 검출 시간을 Ahmed와 Ashton-Miller의 연구 결과와 비교하였다.

II. 연구 방법

1. 내부 모델과 재구성

중추신경계는 균형유지 혹은 회복을 위해 필요한 근육들에게 제어신호를 보낸다. 균형을 유지하는 운동에서 중추신경계의 내부적인 작용을 간단히 수학적으로 모델링한 것이 내부 모델이다. 중추신경계의 복잡한 내부 작용을 수학적으로 모델링하는 것과 균형에 관련된 중추신경계의 활동 내용을 직접적으로 파악하는 것은 매우 어려운 작업이다.

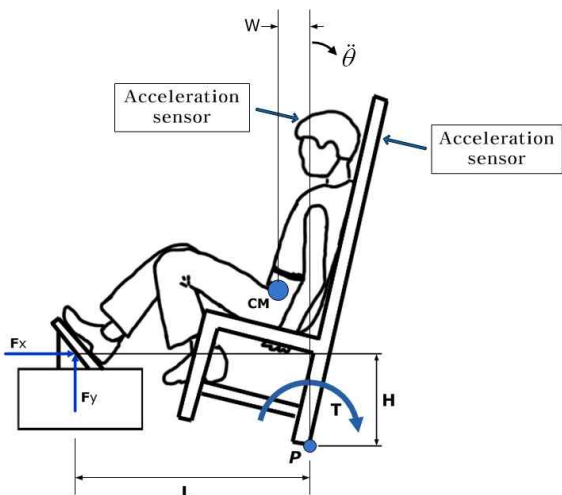


그림 1. 앉은 자세에서의 균형잡기 작업의 개략도.
Fig. 1. The schematic diagram of the balancing task in the seated posture.

따라서 본 연구에서도 Ahmed와 Ashton-Miller가 사용한 바와 같이 의자 뒷다리로 균형을 잡는 운동을 선택하여 중추신경계의 내부 모델을 구성하였다. 그림 1은 채택된 운동 실험을 나타내며 균형 작업 모델은 P점이 피봇팅된 도립진자로 간략화 할 수 있다. 의자를 뒤로 미는 힘에 의해 P점에 발생하는 회전력이 도립진자를 움직이는 입력이 되고, 이로 인하여 발생하는 의자의 가속도가 시스템의 출력이 된다. 따라서 이 운동은 단일 입출력 관계를 가지며 P점을 회전축으로 1자유도를 가진다.

내부 모델 재구성은 내부 모델을 일정한 주기에 따라 지속적으로 갱신하는 것을 의미한다. 내부 모델을 구성하기 위해 필요한 입출력 데이터인 지면 발반력에 의한 회전력과 의자의 가속도는 시간에 따라 계속 변한다(그림 2). 따라서 본 연구에서 내부 모델의 재구성은 이전 단계에서의 회전력과 의자의 가속도 데이터를 이용하여 현재의 가속도를 예측하는 구조를 갖는다.

그림 3에서 보는 바와 같이 재구성법에 의해 내부 모델은 신체의 감각기관을 통하여 현재 상태에 유연하게 대처하도록 중추신경과 같이 가변적인 모델로 표현될 수 있다. 이는 처음 자전거를 타면서 쉽게 넘어지는 등 운전이 미숙하

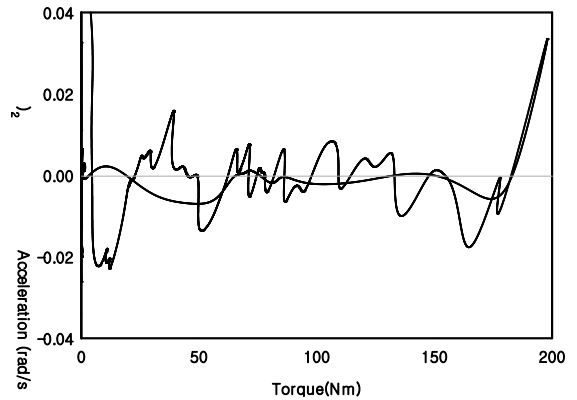


그림 2. 지면 발반력에 의한 회전력에 따른 의자의 가속도.
Fig. 2. The diagram of the acceleration of the chair versus the torque of the ground reaction force.

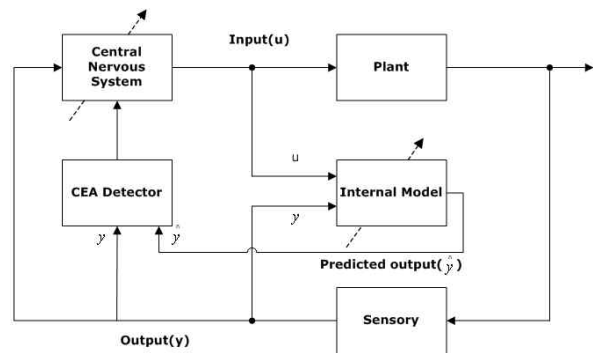


그림 3. 재구성법을 이용한 균형상실 검출 알고리즘의 블록선도.
Fig. 3. Block diagram of the detection algorithm of LOB using the reconstruction method.

다가 점점 시간이 흐름에 따라 운전이 익숙해지고 능숙해지는 것처럼, 내부 모델도 그때의 상태에 따라 가변적으로 바뀔으로써 초기의 미숙한 운전 특성을 버리고 차츰 익숙해지는 새로운 특성을 포함하게 되는 것이다. 즉 새로운 상태에 곧바로 대처할 수 있는 가변적인 모델이 되는 것이다.

내부 모델의 재구성 알고리즘은 크게 데이터 처리부, 내부 모델 구성부, 검출부로 나눌 수 있다. 여기서 검출부는 다시 3-시그마법 구성부와 감시부로 나눌 수 있다. 본 알고리즘을 각 파트별로 데이터 처리되는 순서대로 그림 4에 도시하였다. 데이터 처리부에서는 힘판과 가속도계를 통하여 획득한 자료를 필터링하고, 힘판의 발반력을 이용하여 사람이 앉은 의자에 대한 회전력을 계산한다. 내부 모델 구성부에서는 이전 단계에서 얻어진 회전력과 의자의 가속도(y_i)를 이용하여 내부 모델을 구성하고, 현재 단계에서 회전력에 대하여 발생할 것으로 예측되는 가속도(\hat{y}_i)를 계산한다. 3-시그마법 구성부에서는 측정된 의자의 가속도와 예

측된 가속도의 차인 제어오차(E_i)를 구하고, 제어오차에 대한 평균(m_i)과 표준편차(σ_i)를 이용하여 3-시그마 수준의 오차 한계값(E_{th})을 제시한다. 감시부에서는 일정한 주기(h_d)를 가지고 제어오차가 오차의 한계값을 넘어서는지 감시하게 된다.

그림 5는 구체적으로 재구성법에 의한 내부 모델 구성 및 사용 방법을 나타내고 있다. Ahmed와 Ashton-Miller 모델의 내부 모델 구성법과는 달리 이전 단계에서의 회전력과 가속도를 이용하여 근사화된 내부 모델은 현재 단계에서 요구되는 가속도를 예측하는데 사용된다. 동시에 현재 시점 i 에서 계산된 가속도 예측값(\hat{y}_i)은 다음 단계 $i+1$ 에서 내부 모델을 구성하는데 필요한 데이터가 된다. 재구성법을 통하여 i 번째 갱신된 내부 모델은 다음과 같다.

$$\hat{y}_i = a_{0,i-1} + a_{1,i-1} \times T_i \quad (1)$$

여기서 아래첨자 i 는 현재 단계를 의미하고, $i-1$ 은 이전 단계를 의미한다. $a_{0,i-1}$ 와 $a_{1,i-1}$ 은 재구성법을 통해 이전 단계의 센서에 의해 검출된 의자의 가속도(y)와 회전력(T)를 선형모델로 근사화하여 얻은 계수이다. 이때 선형모델로 근사하기 위한 방법으로 최소제곱법을 사용하였다.

2. 검출 성능

기존 알고리즘과의 비교를 위한 항목은 균형상실 검출 성공률(SR: Success Ratio)과 여유시간(MT: Margin Time)이며, 이 두 가지 항목으로 알고리즘의 검출 성능을 평가하였다. 검출 성공률은 균형상실이 실제 낙상 이전에 효과적으로 검출되었는지의 여부를 판별하기 위한 것이고, 여유시간은 낙상 방지 및 균형 유지를 위해 균형상실을 검출한 시간이 가지는 시간적 여유를 의미한다. 그림 6은 균형상실 검출에 관한 각 시점을 표시한 것이다. 검출 성공률과 여유시간을 계산하기 위하여 본 연구에서는 다음 두 가지 기준을 따른다[5].

기준 1: 의자 균형 작업 시 균형 유지를 위해 보상운동이 일어난 시점(CT: Compensatory reaction Time)에서 넘어짐이 완전히 끝나는 시점(FT: Finished falling Time)까지 걸린 시간이 대략 1초 전후이기 때문에 균형상실 발생 시점(DT: Detecting Time)은 FT를 기준으로 2초 이내에 발생한 경우 유효한 균형상실 검출로 인정한다.

기준 2: 기준 1을 만족하고, 균형상실 발생 시점인 DT와

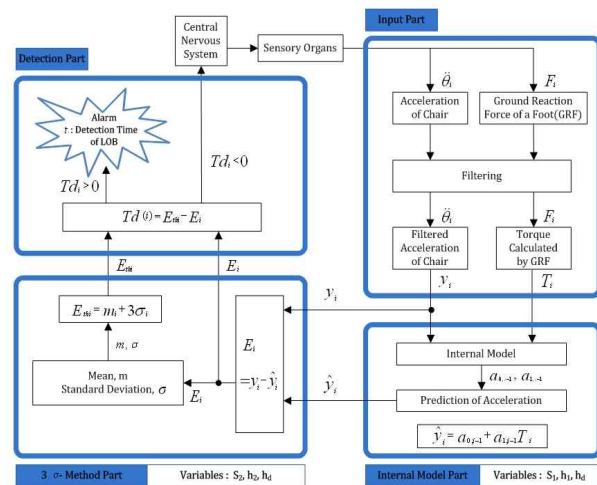


그림 4. 재구성법을 적용한 검출 알고리즘의 데이터 처리과정에 따른 흐름도.
Fig. 4. The flow chart of data processing in the detecting algorithm with the reconstruction method.

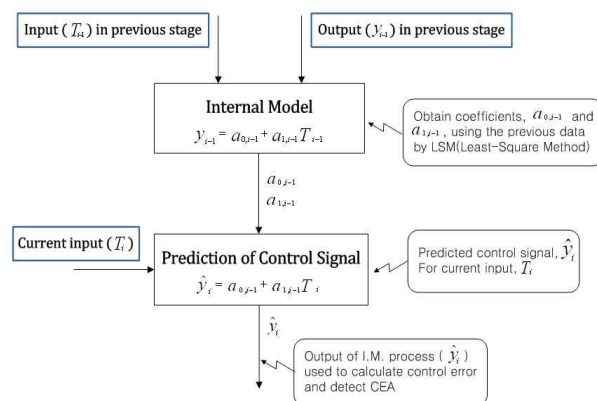


그림 5. 재구성법에 사용되는 내부모델.
Fig. 5. Identification of the internal model and the data processing using the reconstruction method.

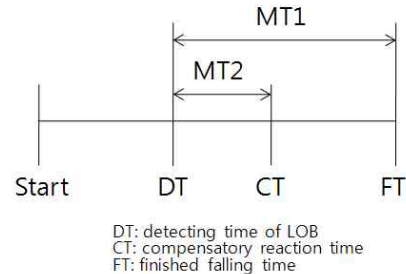


그림 6. 균형상실 검출에 사용되는 여유시간의 정의.
Fig. 6. Definitions of the MT (Margin Time) and the times related to the detection of LOB.

보상운동이 발생한 시점인 CT 사이의 차가 100 ms 보다 큰 경우 유효한 균형상실 검출로 인정한다. 이 값은 중추신경계와 수의근(voluntary muscle)의 상호 신호 전달에 걸리는 시간지연을 고려한 것이다[7,8].

검출된 성공률은 여유시간을 계산하는데 필요한 데이터 수를 결정한다. 즉 검출이 성공되어야지만 여유시간을 계산하기 때문에 여유시간의 정확성은 검출 성공률에 종속적이다. 기준 1에 의해서 발생한 여유시간을 MT1, 기준 2에 의해 발생한 여유시간을 MT2라고 하며, 각각의 여유시간은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} MT1 &= FT - DT \\ MT2 &= CT - DT \end{aligned} \quad (2)$$

그리고 기준 1과 기준 2를 만족하는 성공률은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} SR_1 &= \sum_{p} n(MT1 | MT1 \leq 2s) \div N \times 100 = \frac{p}{N} \times 100 \\ SR_2 &= \sum_{q} n(MT2 | 0.1s \leq MT2) \div p \times 100 = \frac{q}{p} \times 100 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 SR_1 과 SR_2 는 각각 기준 1과 2를 만족하는 성공률이며 각 성공률은 백분율로 계산하였다. N은 전체 실험 횟수, p는 기준 1에 대한 성공 횟수, q는 기준 2에 대한 성공 횟수를 각각 나타낸다. 기준 1을 만족해야 기준 2를 검토할 수 있으므로 N과 p와 q의 상호 관계는 $N \geq p \geq q$ 로 표현할 수 있다.

실제 유효한 검출 성공률은 기준 1과 2를 동시에 만족하는 경우이다. 확률적으로 본다면 총 N개 경우의 수에서 p개를 뽑은 후, 다시 p에서 q개를 뽑는 경우가 된다. 각각의 사건은 서로 독립적으로 발생하는 사건이므로 두 사건이 동시에 발생할 확률은 각각의 확률의 곱으로 계산할 수 있다. 이를 이용하여 두 기준을 동시에 만족하는 검출 성공률은 다음 식 (4)와 같이 계산된다.

$$SR = \frac{SR_1}{100} \times \frac{SR_2}{100} \times 100 = \frac{q}{N} \times 100 \quad (4)$$

III. 실험 및 결과

1. 실험 방법과 데이터 처리

의자 균형 잡기 실험은 의자의 뒷다리로 균형 상태를 최대한 오랫동안 유지하는 실험이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 피실험자가 의자에 앉은 후 한 쪽 발만을 사용하여 천천히 의자를 뒤로 기울이면서 넘어지지 않을 정도로 최대한 뒤로 기울여 균형을 이루는 실험을 수행한다. 이때 의자의 가속도에 영향을 주는 신체의 다른 움직임은 없도록 하였다. 피실험자들은 나이가 30세 전후인 건강한 성인남녀 9명으로 구성되었다. 표 1은 피실험자의 신체적 특성을 나타낸 것이다.

실험은 예비실험과 본 실험으로 나뉘어 진행하였다. 본 연구에서 구현한 알고리즘에 의한 결과가 기존 연구를 잘 따르는지 비교 검증을 위하여 예비실험을 수행하였고, 구현된 알고리즘의 내부 설계변수를 추출하기 위하여 본 실험

표 1. 피실험자의 신체적 특성.

Table 1. Personal information.

Subject	Age	Height	Weight
P1	31	174	86
P2	35	186	78
P3	36	163	54
P4	30	172	85
P5	30	165	52
P6	31	160	53
P7	30	173	72
P8	25	171	65
P9	30	171	65
Average	30.9	170.5	67.8

을 수행하였다. 예비실험은 모든 피실험자들이 연습없이 각각 10 회씩 실험을 수행하였다. 본 실험은 이들 중 비슷한 체격을 가진 두 명의 피실험자(S8, S9)를 선택하여, 10 회 실험을 한 세트로 총 12 세트를 수행하였다. 피실험자들이 한 세트의 실험을 마친 후 충분히 휴식을 취하게 함으로써 신경계와 근력에 무리를 주지 않도록 하였다. 각 실험에서 획득하는 데이터는 의자를 한 쪽 발로 미는 힘으로 힘판에서 발생하는 발반력과 헬멧과 의자에 부착된 가속도계를 통해 얻어지는 머리와 의자의 가속도이다.

본 연구에서는 균형상실 측정 장치를 통해 측정된 데이터의 취합과 동기화를 위한 프로그램인 Kwon GRF(Visol, Inc., Korea)를 통해 조합하여 실험 데이터를 취득하였다. 발반력은 힘판(Kistler, 8256A)을 사용하였고, 머리와 의자의 가속도는 저주파 가속도계(Wilcoxon, 799LF)를 사용하였다. 센서를 통해 얻어지는 데이터인 발반력과 의자 및 머리의 가속도는 샘플링 주기를 1kHz로 하였다. 균형상실 검출 알고리즘 구현 및 모든 데이터 분석은 Matlab V7.1(Mathworks, Inc., USA)을 사용하여 시행하였다. 센서를 통하여 획득한 데이터는 느린 운동이므로 저역통과여과기(LPF: Low-Pass Filter)로 필터링한다. 이때 절단 주파수(cutoff frequency)는 3Hz로 하고 4차 Butterworth 필터를 사용한다[5].

필터링 작업 시 위상 지연(phase delay) 현상을 줄이기 위해 정방향과 역방향으로 각각 1회씩 필터링하였다. 또한 기존 연구에서 언급한 대로 3Hz에 대한 1차 저역통과 필터링을 한 실험 자료를 0.3Hz에 대해 상대적 고주파 영역을 취하기 위해 고역통과 필터링 작업을 2차로 실시하였다. 이때 0.3Hz는 고역통과 여과기(HPF: High-Pass Filter)의 절단 주파수가 된다[5].

의자의 가속도는 발반력을 통해 계산되는 의자의 회전력과의 관계를 규명하여 내부 모델을 구성하기 위한 데이터로 사용된다. 헬멧에 부착된 가속도계를 통한 가속도는 머리의 운동을 평가하기 위한 것이다. 의자가 뒤로 넘어질 때 넘어지지 않기 위하여 피실험자는 머리가 앞으로 움직이는 보상운동을 하게 된다. 헬멧의 가속도계를 통해 얻어지는 머리 가속도는 이 보상운동의 발생여부를 판별하기 위하여 사용하였다.

균형잡기 실험에서 보상운동은 머리와 의자의 가속도가 큰 차이를 보일 때 발생한 것으로 본다. 머리의 의자의 등판에 붙인 상태에서 균형잡기 실험을 수행하기 때문에 균형이 잡힌 상태에서의 머리와 의자 가속도는 거의 같은 값을 가진다. 그러나 피실험자가 제어 실패로 균형상실이 발생하여 낙상의 위험을 감지하게 되면 반사적으로 보상운동이 나타나는데, 이 때 머리가 의자의 등판에서 떨어져서 상체를 숙이게 된다. 이 경우 머리와 의자의 가속도값에 큰 차이가 발생하게 되며, 이 시점이 그림 6에서 언급한 보상운동 시점(CT)이 된다.

2. 실험 결과 및 토의

제안된 내부 모델 재구성법의 효과를 검증하기 위해 균형상실 검출 성능에 관련된 성공률과 여유시간에 대하여 결과를 정리하였다. II-2에서 언급한 것처럼 검출 성공률은 세 가지 값 SR1, SR2, SR을 비교하였다(그림 7). SR1은 기준 1에 의한 성공률을, SR2는 기준2에 의한 성공률을, SR은 두 조건을 모두 만족하는 경우의 성공률을 의미한다. 또한 기준 1에 의한 여유시간 MT1과 기준 2에 의한 여유시간 MT2에 대하여도 함께 비교하였다(그림 8).

그림 7은 검출 성공률의 관점에서 제안된 재구성법에 의한 결과가 기존 연구 결과에 비하여 성공률이 향상되었음을 보여준다. 기준 1에 의한 성공률(SR1)이 97.9%이고, 기준 2에 의한 성공률(SR2)이 97%이며, 두 가지 기준을 모두 만족하는 성공률(SR)은 95%이다. 이 세 값들 중 두 조건을

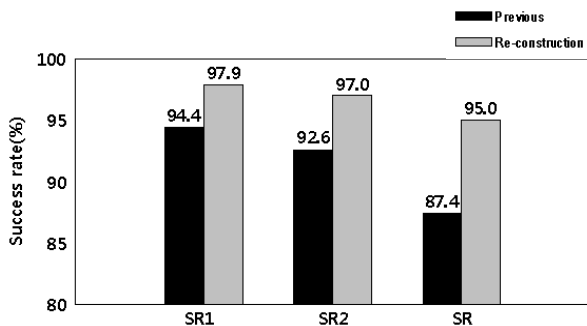


그림 7. 재구성법의 사용에 따른 검출 성공률 비교.
Fig. 7. Comparison of the success rates between the previous method and the proposed methods.

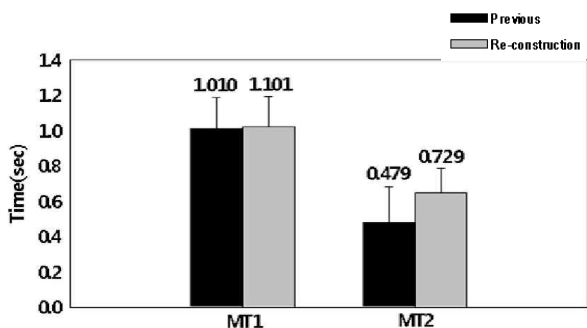


그림 8. 재구성법의 사용에 따른 여유시간 비교.
Fig. 8. Comparison of the margin times between the previous and the proposed methods.

동시에 만족하는 SR값이 알고리즘이 효과적으로 균형상실을 검출하였는지 여부를 판별하는데 적합하다. SR을 기준으로 할 때 기존 방법에 비해 재구성법을 적용했을 때 약 7.6% 더 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

그림 8은 균형상실의 검출이 효과적인지를 판정하는 다른 방법인 여유시간의 관점에서 재구성법의 효과를 살펴본 그래프이다. 기준 1에 의한 여유시간(MT1)은 1.101sec이고, 기준 2에 의한 여유시간(MT2)은 0.729sec이다. 기준 1은 균형상실이 검출된 시간이 바닥에 완전히 넘어지기 전에 발생한 것인지를 판정하는 것이고, 기준 2는 균형상실 시점이 보상운동보다 빨리 발생했는지 여부를 판정하는 것이다. 따라서 보상운동이 발생하기 전에 얼마나 빨리 균형상실을 예측했는가를 나타내는 값은 기준 2에 의한 여유시간인 MT2이다. 기존 방법에 비해 재구성법을 사용한 경우 MT2가 약 0.25sec 만큼 더 빨리 낙상을 예측할 수 있었다.

재구성법을 사용했을 때 성공률과 여유시간 모두 기존 방법[5]보다 향상된 결과를 얻었다. 균형상실을 검출함으로써 낙상을 예측하는 알고리즘에서 가장 중요한 부분인 내부 모델을 재구성법으로 시계열 데이터에 대하여 갱신하는 것이 검출성능 향상에 효과적으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 재구성법으로 내부 모델을 갱신하는 것이 검출성능 향상에 효과적인지를 검출 성공률과 여유시간에 대하여 살펴보았다. 검출 성공률의 경우 두 가지 기준을 모두 평가할 수 있는 SR값으로, 여유시간은 보상운동보다 균형상실 검출이 빠른 정도를 나타내는 MT2값으로 비교하였다. 두 값은 각각 95.0%, 0.729sec로 재구성법을 사용하지 않은 경우에 비해 약 7.6%, 약 0.25sec 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 재구성법이 균형상실 검출 알고리즘의 검출 성능을 향상시키는데 효과적임을 확인하였다.

향후 각 내부 모델의 변수들의 상호 관계성을 규명하고 검출 알고리즘의 성공률을 향상시키기 위한 설계변수의 최적화를 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 내부 모델을 힘에 대한 것 뿐 아니라 다른 요인들에 대한 함수로 표현하는 방법과 신경망을 이용하여 내부 모델을 구성하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] S. Sadigh, A. Reimers, R. Andersson, and L. Laflamme, "Falls and fall-related injuries among the elderly: a survey of residential-care facilities in a swedish municipality," *J Community Health*, vol. 29, no. 2, pp. 129-140, Apr. 2004.

[2] N. Noury, P. Rumeau, A. K. Bourke, G. O'Laighin, and J. E. Lundy, "A proposal for the classification and evaluation of fall detectors," *Elsevier Masson France IRBM*, vol. 29, pp. 340-349, Dec. 2008.

[3] M. J. Gibson, R. O. Andres, B. Isaacs, T. Radebaugh, and J. Worm-Petersen, "The prevention of falls in later life," *Dan Med Bull*, vol. 34 (Suppl 4), pp. 1-24, Apr.

1987.

- [4] G. Wu, "Distinguishing fall activities from normal activities by velocity characteristics," *J Biomechanics*, vol. 33, pp. 1497-1500, Nov. 2000.
- [5] A. A. Ahmed and J. A. Ashton-Miller, "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, Jun. 2004.
- [6] G. J. Wijnhuizen, A. M. J. Chorus, and M. Hopman-Rock, "The 24-h distribution of falls and person-hours of physical activity in the home and strongly associated among community-dwelling older persons," *Preventive medicine*, vol. 46, pp. 605-608, Jun. 2008.
- [7] Y. S. Oh, W. Y. Park, K. H. Kim, K. O. An, and S. H. Song, "The research of balance strategy and latency between old and adolescent by dynamic posturography," *Korea J of Sports Science*, vol. 17, no. 2, pp. 959-968, May 2008.
- [8] J. H. J. Allum and F. Honegger, "Informations between vestibular and proprioceptive inputs triggering and modulating human balance-correcting response differ across muscles," *Exp Brain Res*, vol. 121, pp. 478-494, May 1998.



김 광 훈

1998년 부산대 기계공학과 졸업. 2002년 동 대학원 석사. 2009년 동 대학 박사. 2009년~현재 부산대학교 기계기술연구원 전임연구원. 관심분야는 다물체 동역학, 신호처리 및 분석, 생체시스템.



박 정 흥

1997년 인제대 의용공학과 졸업. 1999년 동 대학원 석사. 2008년 부산대 기계설계 박사. 2008년~현재 부산대학교 기계공학부 BK21 박사후연구원. 관심분야는 생체시스템, 로봇시스템, 비선형 동역학.



손 권

1978년 서울대 기계공학과 졸업. 1980년 KAIST 대학원 석사. 1988년 University of Michigan 기계공학 박사. 1981년~현재 부산대학교 교수. 관심분야는 생체역학 및 동역학, 모델링.