

논문 2022-17-19

노인용 보행보조기의 안전성 향상을 위한 노면 상태 및 기울기 추정

(Estimation of Road Surface Condition and Tilt Angle to Improve the Safety of Mobility Aids for the Elderly)

박기동, 김종화, 최진규*

(Gi-Dong Park, Jong-Hwa Kim, Jin-Kyu Choi)

Abstract : This paper proposes a method for estimating the road surface condition and tilt angle using an inertial measurement unit (IMU) to improve the safety in the use of mobility aids for the elderly. The measurements of the accelerometers of the IMU usually include the accelerations caused by not only the gravitational force but also linear and rotational motions. Thus, the gravitational accelerations are first extracted using several physical constraints and then incorporated into the Kalman filter to estimate the tilt angle. In addition, because the magnitudes of the accelerations produced by the rotational motions (roll and pitch motions) vary with the road surface condition, a criterion based on such accelerations is presented to classify the condition of the road surface. The obtained road surface condition and tilt angle are finally combined to provide the safety information (e.g., safe, warning, and danger) for the user to improve the walking safety. Experiments were carried out and the results showed that the proposed method can provide the condition of the road surface, the tilt of the road surface, and the safety information correctly.

Keywords : Mobility aid, IMU, Tilt estimation, Road surface condition, Kalman filter

1. 서론

고령화 사회가 진행됨에 따라 자립적 보행이 힘든 노인을 위한 보행보조기 (mobility aid)의 사용량이 증가하고 있다 [1]. 일반적으로 판매되고 있는 보행보조기는 팔의 힘을 이용해 몸을 지탱함으로써 불편한 다리로도 보행을 가능하게 하는 기능을 가지지만 노면의 기울기 및 노면의 상태 등에 의한 낙상 사고 및 팔의 힘이 약해진 노약자의 경우 보행시의 안전이 보장되지 않는다는 문제점을 가지고 있다.

이러한 보행보조기의 문제점을 해결하기 위하여 보행보조는 물론 안내 및 장애물 회피와 같은 유용한 기능을 지원하는 시스템이 개발되어 왔다 [2-10]. 예를 들어, Hitachi Ltd.는 사용자의 보행 및 일어나고 앉는 동작을 지원하는 시스템을 개발하였으며 양쪽 손잡이에서 밀고 당기는 힘을 센서로 감지하여 바퀴를 구동함으로써 사용자의 보행을 보조하게 하였다 [2].

MacNamara 등은 이동 능력이 제한되고 시각 장애가 있는 사람들을 위한 PAM-AID (personal adaptive mobility aid)를 개발하였다 [3]. 본 시스템에는 assistive와 manual의 두 가지 동작 모드가 있으며 assistive 모드에서는 바퀴의 조향만 모터에 의해 제어되게 하여 사용자의 의도와 장애물



그림 1. 노인용 보행보조기
Fig. 1. A mobility aid for the elderly

회피 전략이 호환가능하게 하였다.

또한, Dubowsky 등은 손잡이와 연결된 6축 힘/모멘트 센서를 이용하여 사용자의 의도를 추정하고 초음파 센서 및 카메라로 수집한 데이터를 통합하여 장애물을 피하도록 바퀴를 제어하는 기능을 갖춘 PAMM (personal aid for mobility and monitoring)이라는 시스템을 개발하였다 [4].

그리고, Geunho 등은 보행자의 보행 특성을 동적으로 해석하여 사용자의 다양한 보행 방향 및 속도에 대해 안정적인 보행을 할 수 있게 보조하는 JAIST Active Robotic Walker (JARoW)를 개발하였다 [5-7].

본 논문에서는 그림 1과 같은 노인용 보행보조기의 사용

*Corresponding Author (jk-choi@kmou.ac.kr)

Received: Nov. 29, 2021, Revised: Jan. 4, 2022, Accepted: Jan 26, 2022.

G.D. Park: Korea Maritime & Ocean University (M.S.)

J.H. Kim: Korea Maritime & Ocean University (Prof.)

J.K. Choi: Korea Maritime & Ocean University (Assoc. Prof.)

에 있어서의 낙상 사고를 줄이는 것에 목적을 두고 상기에 소개한 논문들에서 다루지 않은 노면 기울기 및 노면 상태를 추정하는 방법을 제안한다. 일반적으로 IMU (inertial measurement unit)를 이용하여 어떤 물체의 기울기를 구하기 위해서는 가속도 센서의 측정치로부터 중력가속도 성분만을 추출할 필요가 있다. 본 연구에서는 물리적인 구속조건을 이용하여 중력가속도 성분을 추출하는 방법을 제안한다. 또한, 노면 상태에 따라 보행보조기의 회전운동에 기인한 가속도가 변한다는 것에 착안하여 이를 근거로 노면 상태를 구분하는 지표로 제시한다. 이러한 지표 및 기울기 정보는 보행 안전성을 위하여 보행자에 알려주는 하나의 수단이 되는 것은 물론 각 노면 상태에 따라 사전에 구해 놓은 분산정보를 노면 기울기 추정을 위해 사용되는 칼만필터 (Kalman filter)에 제공함으로써 추정된 기울기의 정도 (precision)를 향상시키는 역할도 한다.

이하 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 제안하는 노면 기울기 및 노면 상태를 추정하는 방법에 대해 설명하고, III장에서는 실험을 통하여 제안하는 방법의 성능을 검증한다. 그리고 마지막으로 IV장에서는 결론 및 급후의 과제를 제시한다.

II. 제안하는 알고리즘

1. IMU를 이용한 기울기 검출

IMU는 일반적으로 가속도 센서와 자이로 센서로 구성되어 있으며 가속도 센서의 데이터로부터 물체의 기울기를 검출할 수 있다. 그림 2는 가속도 센서를 이용한 기울기 검출에 대해 설명하고 있다. 여기서, $E_x E_y E_z$ 는 고정좌표계, $S_x S_y S_z$ 는 IMU에 부착된 센서좌표계, 그리고 g 는 중력가속도를 나타낸다. 기울기 검출의 기본 원리는 물체의 자세가 바뀌어도 고정좌표계에서의 중력가속도의 방향은 바뀌지 않는다는 것이다.

가속도 센서에서의 측정치가 $(a_{gx} \ a_{gy} \ a_{gz})^T$ 인 경우, 고정좌표계에서의 중력가속도는 $(0 \ 0 \ -g)^T$ 로 표현되기 때문에 다음 관계식이 성립한다 [11].

$$\begin{pmatrix} a_{gx} \\ a_{gy} \\ a_{gz} \end{pmatrix} = R_{xyz}^T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix}. \quad (1)$$

여기서, R_{xyz} 는 롤 (roll, ϕ)-피치 (pitch, θ)-요 (yaw, ψ) 회전을 나타내는 회전행렬이며 각 성분은 다음과 같다.

$$R_{xyz} = \begin{pmatrix} C\psi C\theta & C\psi S\theta S\phi - S\psi C\phi & C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi \\ S\psi C\theta & S\psi S\theta S\phi + C\psi C\phi & S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi \\ -S\theta & C\theta S\phi & C\theta C\phi \end{pmatrix}. \quad (2)$$

여기서, $S\alpha \equiv \sin\alpha$, $C\alpha \equiv \cos\alpha$. 그러면 수식 (1)과 (2)로부터 다음과 같이 물체의 기울기가 되는 롤 각 (ϕ) 및 피치 각 (θ)을 구할 수 있다.

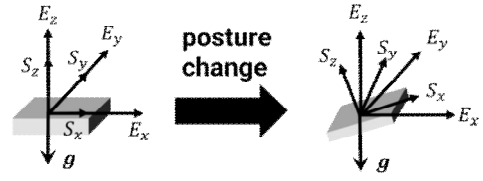


그림 2. 가속도 센서를 이용한 기울기 검출
Fig. 2. Tilt sensing using accelerometers

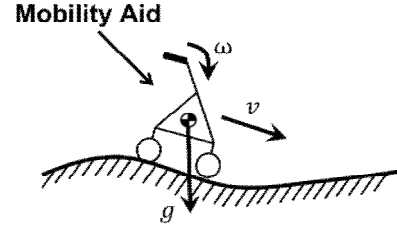


그림 3. 가속도센서의 측정치에 영향을 끼치는 병진운동(v)과 회전운동(ω)
Fig. 3. Linear (v) and rotational (ω) motions that affect the measurements of the accelerometers

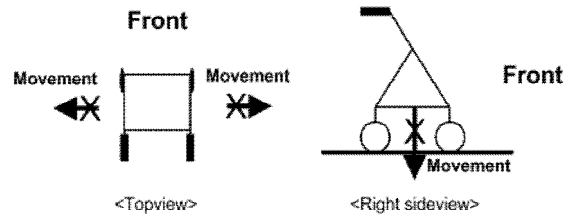


그림 4. 물리적 구속조건
Fig. 4. Physical constraints

$$\phi = \tan^{-1} \frac{a_{gy}}{a_{gz}}, \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{a_{gx}}{\sqrt{a_{gy}^2 + a_{gz}^2}}. \quad (4)$$

하지만, 가속도 센서의 측정치에는 그림 3과 같이 중력가속도 성분 이외에도 병진운동 및 회전운동에 기인하는 가속도 성분이 포함되어 있다. 따라서 가속도 센서의 측정치는 다음 관계식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} A &= a_{gravity} + a_{linear} + a_{rotation}, \\ A &= (A_x \ A_y \ A_z)^T, \\ a_{gravity} &= (a_{gx} \ a_{gy} \ a_{gz})^T, \\ a_{linear} &= (a_{lx} \ a_{ly} \ a_{lz})^T, \\ a_{rotation} &= (a_{rx} \ a_{ry} \ a_{rz})^T. \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, A 는 가속도 센서의 측정치, $a_{gravity}$ 는 중력가속도, a_{linear} 는 병진운동에 기인한 가속도, $a_{rotation}$ 는 회전운동에 기인한 가속도를 나타낸다.

본 연구에서 대상으로 하는 보행보조기는 뒷바퀴가 고정되어 있으며 앞바퀴가 조향을 위해 자유롭게 회전하는 구조를 가지고 있다. 따라서 그림 4와 같이 좌우 방향으로의 미끄러움이 존재하지 않는다고 가정하면 좌우 방향으로의 병진 운동에 의한 가속도 성분은 무시할 수 있다 ($a_{iy} = 0$). 또한, 노면 방향으로의 병진운동은 노면에 의해 발생할 수 없다고 가정하면 이 성분 또한 무시할 수 있다 ($a_{iz} = 0$). 따라서 이러한 물리적 구속조건을 고려하면 수식 (5)는 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{yx} + a_{rx} + a_{ix} \\ a_{yy} + a_{ry} \\ a_{yz} + a_{rz} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

그리고 식 (6)에서의 회전운동에 기인한 가속도 성분은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$a_{rotation} = \alpha \times r + \omega \times (\omega \times r). \quad (7)$$

여기서, $\alpha = (\alpha_x \ \alpha_y \ \alpha_z)^T$ 와 $\omega = (\omega_x \ \omega_y \ \omega_z)^T$ 는 각각 각가속도와 각속도를, $r = (r_x \ r_y \ r_z)^T$ 은 무게 중심부터 뒷바퀴 중심까지의 위치벡터를, 그리고 $a \times b$ 는 벡터 a 와 b 의 외적을 나타낸다.

수식 (7)의 결과를 이용하여 수식 (6)에서의 회전운동에 기인한 가속도 성분을 빼주면 좌우 및 수직 방향으로의 중력가속도 성분은 다음 식에 의해 구해진다.

$$\begin{pmatrix} a_{yy} \\ a_{yz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_y - a_{ry} \\ A_z - a_{rz} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

또한, 가속도 센서의 측정치는 구속조건:

$$g = \sqrt{a_{gx}^2 + a_{gy}^2 + a_{gz}^2}. \quad (9)$$

을 만족하기 때문에 이를 이용하면 나머지 중력가속도 성분인 a_{yx} 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$a_{yx} = \pm \sqrt{g^2 - a_{yy}^2 - a_{yz}^2}. \quad (10)$$

이렇게 수식 (8)과 (10)을 이용해서 구한 중력가속도 성분을 수식 (3)과 (4)에 대입하면 기울기를 나타내는 롤 각 및 피치 각을 구할 수 있다.

2. 노면 상태 추정

그림 5에서 보이는 것과 같이 노면 상태가 좋지 못하면 보행보조기는 그 만큼 좌우 또는 앞뒤로 흔들림 (회전운동)이 많아진다. 따라서 본 연구에서는 이러한 노면 상태에 의해 발생하는 회전운동에 기인한 가속도 성분으로부터 노면 상태를 추정한다.

먼저, 노면 상태에 따라 발생하는 회전운동에 기인한 가속도는 식 (7)에 의해 구해질 수 있으며 그 크기는 다음 식으로 얻을 수 있다.

$$\|a_{rotation}\| = \sqrt{a_{rx}^2 + a_{ry}^2 + a_{rz}^2}. \quad (11)$$

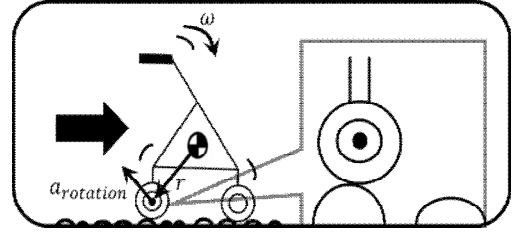


그림 5. 노면 상태에 기인한 회전운동
Fig. 5. Rotational motion caused by the road surface condition

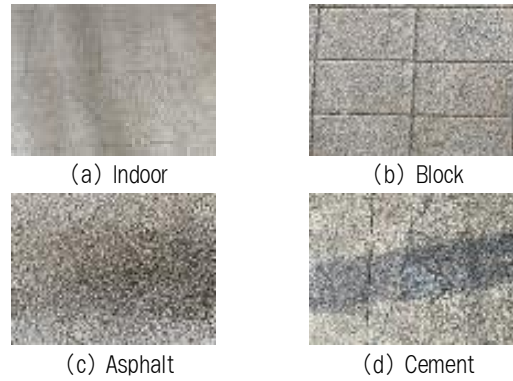


그림 6. 노면 상태 예시

Fig. 6. Examples of road surface conditions

수식 (11)의 결과는 운동이 발생한 시점에서의 가속도를 나타내기 때문에 이를 일정시간 동안 누적한 다음 식을 노면 상태를 나타내는 지표로 사용한다.

$$RSC = \int_t^{t+n} \|a_{rotation}\| dt. \quad (12)$$

여기서, RSC (Road Surface condition Criteria)는 노면 상태 지표를 나타낸다.

노면 상태 지표 (RSC)로부터 노면 상태 분류를 위한 데이터를 얻기 위하여 그림 6과 같은 4가지 노면 상태 (실내, 보도블록, 아스팔트, 시멘트)에 대해 0.2 m/s, 0.5 m/s, 0.7 m/s의 속도로 보행할 때의 실험을 진행하였다. 그림 7은 이의 결과를 나타내고 있다. 실내, 보도블록, 아스팔트, 시멘트 순으로 노면 상태 지표 (RSC)가 커지는 것을 확인할 수 있으며 같은 노면 상태라도 보행 속도가 증가할수록 노면 상태 지표 (RSC)가 커짐을 알 수 있다.

그림 7에서의 실험 결과로부터 표 1과 같이 3종류의 노면 상태로 분류하였다. 노면 상태 A는 실내에서의 모든 보행 속도에 대한 노면 상태 지표 (RSC)를 포함하는 것으로 하였으며 노면 상태 C는 시멘트 노면에서의 보행 속도 0.5 m/s 이상인 경우, 그리고 노면 상태 B는 그 이외의 경우로 판단하였다. 이렇게 분류된 노면 상태는 현재의 기울기 정보와 함께 표 2와 같은 보행 안전성에 대한 정보 (안전 (Safe), 경고 (Warning), 위험 (Danger))로서 보행자에게 전

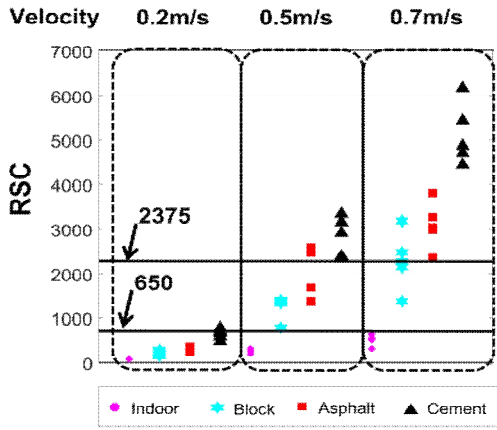


그림 7. 노면 상태 및 보행 속도에 따른 노면 상태 지표(RSC)
Fig. 7. RSC according to the road surface condition and walking speed

표 1. 노면 상태 분류

Table 1. Classification of the road surface condition based on the RSC in Fig. 7

| | |
|----------------|-----------------------|
| Road surface A | $RSC \leq 650$ |
| Road surface B | $650 < RSC \leq 2375$ |
| Road surface C | $2375 < RSC$ |

달된다. 여기서 기울기를 나타내는 피치 각 (θ) 및 롤 각 (ϕ)의 설정은 환경부의 사전환경성검토 업무 매뉴얼 [12]의 경사 기준을 참고하였다.

3. 제안하는 알고리즘

그림 8은 노면 상태 및 기울기를 추정하는 전체 알고리즘을 나타내고 있다. 본 연구에서는 기울기 추정을 위하여 칼만 필터 (Kalman filter)를 사용하였다. 칼만 필터의 프로세스 모델과 측정 모델은 각각 다음과 같다.

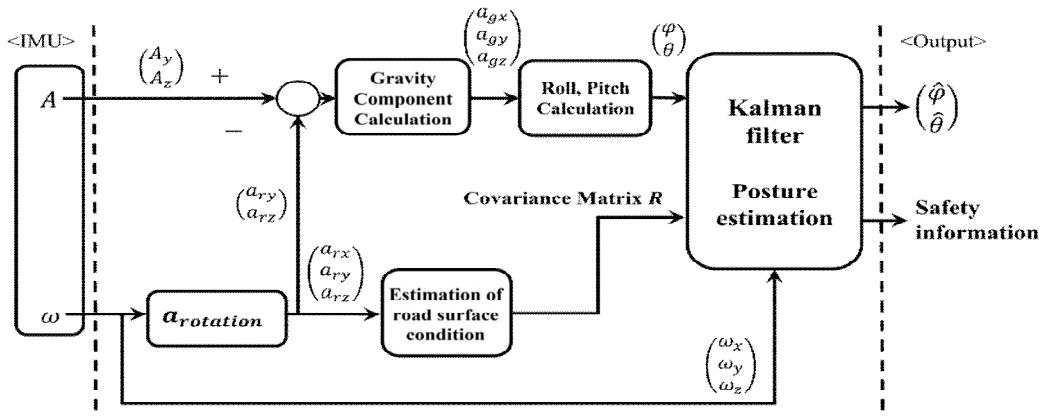


그림 8. 노면 상태 및 기울기 추정을 위한 제안하는 알고리즘
Fig. 8. Proposed algorithm to estimate the road surface condition and tilt angle

표 2. 노면 상태에 근거한 보행 안전성 정보의 분류
Table 2. Classification of the safety information based on the road surface condition and tilt angle

| Situation | Safety Information |
|---|--------------------|
| A and $\phi, \theta < 5^\circ$ A and $5^\circ < \phi, \theta < 15^\circ$ B and $\phi, \theta < 5^\circ$ | Safe |
| A and $15^\circ < \phi, \theta$ B and $5^\circ < \phi, \theta < 15^\circ$ C and $\phi, \theta < 5^\circ$ | Warning |
| B and $15^\circ < \phi, \theta$ C and $5^\circ < \phi, \theta < 15^\circ$ C and $15^\circ < \phi, \theta$ | Danger |

$$x_k = F_{k-1} x_{k-1} + w_{k-1}, \tag{13}$$

$$Z_k = H_k x_k + v_k. \tag{14}$$

여기서, $x_k = (\phi, \theta, \dot{\phi}, \dot{\theta})^T$, w_k 와 v_k 는 평균이 0인 백색잡음, 그리고 Δt 를 샘플링 주기라 하면 F_k 과 H_k 는 다음과 같이 주어진다.

$$F_k = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \tag{15}$$

$$H_k = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{16}$$

칼만 필터의 측정치가 되는 롤 각 (ϕ) 및 피치 각 (θ)은 수식 (3)과 (4)로부터 구해지며 롤 각속도 ($\dot{\phi}$)와 피치 각속도 ($\dot{\theta}$)는 자이로 센서의 출력인 ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$)로부터 다음 식을 이용하여 구한다. 여기서, $T\alpha \equiv \tan \alpha$.

$$\begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & S\phi T\theta & C\phi T\theta \\ 0 & C\phi & -S\phi \\ 0 & S\phi / C\theta & C\phi / C\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix}. \tag{17}$$

표 3. 실험을 통해 얻은 칼만 필터의 공분산 행렬

Table 3. Covariance matrices for the Kalman filter which are obtained from experiments

| Road surface condition | Covariance |
|------------------------|---|
| Road surface A | $R = \begin{pmatrix} R_A & I_{2 \times 2} \\ O_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} \end{pmatrix}$ $R_A = \begin{pmatrix} 3.3494 & 0 \\ 0 & 6.5446 \end{pmatrix}$ |
| Road surface B | $R = \begin{pmatrix} R_B & I_{2 \times 2} \\ O_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} \end{pmatrix}$ $R_B = \begin{pmatrix} 43.2331 & 0 \\ 0 & 58.803 \end{pmatrix}$ |
| Road surface C | $R = \begin{pmatrix} R_C & I_{2 \times 2} \\ O_{2 \times 2} & I_{2 \times 2} \end{pmatrix}$ $R_C = \begin{pmatrix} 124.9 & 0 \\ 0 & 159.5 \end{pmatrix}$ |
| Road surface A, B, C | $Q = 0.01 \cdot I_{4 \times 4}$ |

칼만 필터에서 사용되는 각 백색잡음에 대한 공분산 행렬의 값은 노면 상태에 따라 달라져야한다. 표 3은 각 노면 상태에 대한 공분산 행렬의 값을 실험적으로 구한 것으로 노면 상태 지표 (RSC)에 의해 노면 상태가 결정되면 표에서 주어진 칼만 필터에서의 공분산 행렬 값을 이용하여 기울기를 추정하게 된다.

III. 실험에 의한 검증

1. 고정된 기울기에서의 검증

제안하는 알고리즘의 검증을 위하여 먼저 고정된 기울기에 대해 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 IMU는 MTi-670 (XSens)이며 진치를 알기위해 디지털 경사계 DXL306S를 사용하였다. 설정 경사각은 피치 각 (θ)에 대해 5°, 8°, 15°, 20°, 그리고 롤 각 (ϕ)에 대해 5°, 10°이며 각 경사각에서 앞으로 이동시키며 실험을 진행하였다. 그림 9는 실험 결과를 나타낸다. 주어진 피치 각 및 롤 각에 대한 진치 (True)를 잘 추정하고 있음을 알 수 있다.

2. 실제 환경에서의 검증

실제 환경에서 제안하는 알고리즘을 검증하기 위하여 그림 10에서 보이는 두 종류의 노면에 대해서 실험을 실시하였다. 노면 (a)와 (b)는 오르막 경사가 있는 곳으로 노면 (a)는 일반적인 평탄한 시멘트 노면 상태로 경사계를 이용하여 측정한 결과 최대 10° 이내의 피치 각 (θ)과 2° 이내의 롤 각 (θ)을 가지고 있었다. 노면 (b)는 노면 (a)와 같은 시멘트 노면이지만 상대적으로 다소 거친 노면 상태를 가지고 있다. 그리고 평균적으로 폭 5 cm, 깊이 1.5 cm 정도의 굴곡이 반복되었으며 최대 14° 이내의 피치 각과 2°-6°의 롤 각을 가지고 있었다.

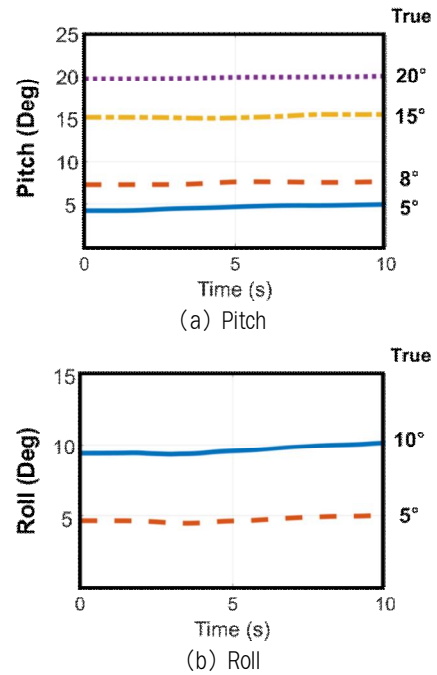


그림 9. 일정 기울기에 대한 기울기 추정
Fig. 9. Tilt estimation when the tilt angle is constant

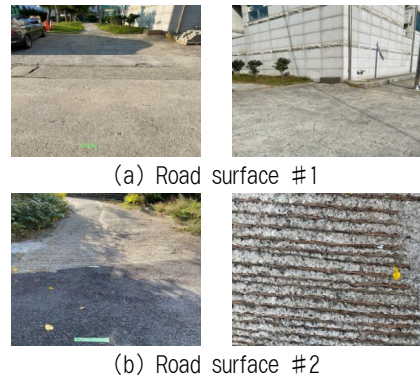


그림 10. 실험을 위한 두 종류의 노면 상태
Fig. 10. Two road surface conditions for experiments

그림 11은 그림 10 (a)의 노면 상태에서의 실험 결과를 나타내고 있다. 그림에서의 O표시는 경사계를 이용하여 측정한 실측치를 나타낸다. 제안한 알고리즘에 의해 추정된 노면 기울기 (피치 각, 롤 각), 노면 상태 그리고 이를 통합해서 얻어진 보행 안전성 정보가 타당한 결과를 제공함을 확인할 수 있었으며 노면 상태 지표가 높거나 기울기가 클수록 보행 안정성 정보가 안전 (Safe)에서 경고 (Warning)로 바뀌는 것을 알 수 있다.

그림 12는 그림 10 (b)에서의 실험 결과를 나타낸다. 노면 기울기를 나타내는 피치 각 및 롤 각의 추정치가 실측치인 O표시와 매우 근사함을 알 수 있으며 분류된 노면 상태 및 보행 안전성 정보로부터 그림 10 (a)의 노면 상태보다 상대적으로 거친 노면 상태임을 알 수 있다.

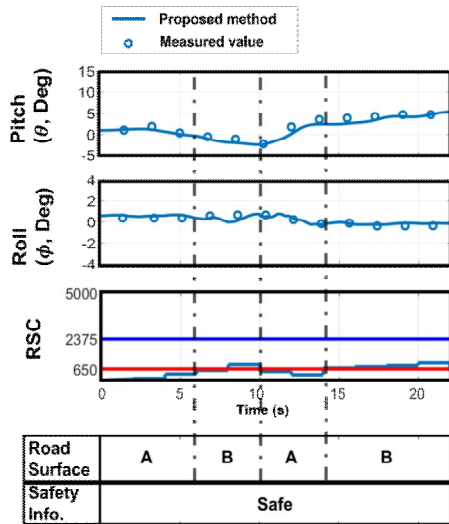


그림 11. 노면 상태 #1에 대한 기울기, 노면 상태 추정 결과 및 안전 정보

Fig. 11. Estimation results of the tilt angle, road surface condition, and safety information for the road surface #1 in Fig. 10

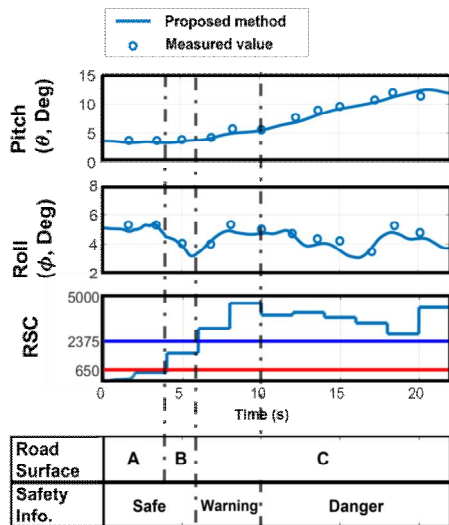


그림 12. 노면 상태 #2에 대한 기울기, 노면 상태 추정 결과 및 안전 정보

Fig. 12. Estimation results of the tilt angle, road surface condition, and safety information for the road surface #2 in Fig. 10

IV. 결론

본 논문은 노인용 보행보조기의 안전성을 향상시키기 위하여 노면의 상태 및 기울기를 추정하는 방법을 제안하였다. 구체적인 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 노면 기울기 검출을 위하여 가속도 센서의 측정치로부터 중력가속도 성분만을 추출하는 방법을 제안하였다.

2) 노면 상태에 따른 회전운동에 기인하는 가속도 성분을 이용하여 노면 상태를 분류하는 지표를 제안하였다.

3) 1)과 2)로부터 얻어진 노면 상태 및 기울기를 바탕으로 보행 안전성 정보 (안전 (Safe), 경고 (Warning), 위험 (Danger))를 제시하였다.

4) 실험을 통하여 제안하는 방법을 검증하였다.

본 연구에서는 제안된 알고리즘에 의해 얻어진 노면 상태 및 기울기 그리고 보행 안전성 정보를 보행자에게 전달하는 인터페이스에 관한 개발이 이루어지지 않았다. 이에 관련된 연구는 금후의 과제로 남긴다.

References

[1] https://www.kdi.re.kr/policy/ep_view.jsp?idx=140715

[2] Y. Nemoto, S. Egawa, A. Koseki, S. Hattori, T. Ishii, M. Fujie, "Power-assisted Walking Support System for Elderly," Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 20, No. 5, pp. 2693-2695, 1998.

[3] S. MacNamara, G. Lacey, "A Smart Walker for the Frail Visually Impaired," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 2, pp. 1354-1359, 2000.

[4] H. Yu, M. Spenko, S. Dubowsky, "An Adaptive Shared Control System for an Intelligent Mobility aid for the Elderly," Autonomous Robots, Vol. 15, pp. 53 - 66, 2003.

[5] G. Lee, T. Ohnuma, N. Y. Chong, "Design and Control of JAIST Active Robotic Walker," Journal of Intelligent Service Robot, Vol. 3, No. 3, pp. 125 - 135, 2010.

[6] G. Lee, E. J. Jung, T. Ohnuma, N. Y. Chong, B. J. Yi, "JAIST Robotic Walker Control Based on a Two-layered Kalman Filter," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation., pp. 3682 - 3687, 2011.

[7] G. Lee, T. Ohnuma, N. Y. Chong, S. Lee, "Walking Intent-based Movement Control for JAIST Active Robotic Walker," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, Vol. 44, No. 5, pp. 665-672, 2014.

[8] X. Mu, X. Zhang, O. R. Osivue, H. Han, H. K. Kadry, Y. Wang, "Dynamic Modeling and Control Method of Walking Posture of Multifunctional Elderly-assistant and Walking-assistant Robot for Preventing Elderly fall," International Conference on Sensing, pp. 806-809, 2018.

[9] A. Asker, S. F. M. Assal, "Kinematic Analysis of a Parallel Manipulator-based Multi-function Mobility Assistive Device for Elderly," IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 676-681, 2015.

[10] T. Alkjær, P. K. Larsen, G. Pedersen, L. H. Nielsen, E. B. Simonsen, "Biomechanical Analysis of Rollator

Walking," Biomedical Engineering Online 5.1 pp. 1-7, 2006.

- [11] J. J. Craig, Introduction to Robotics: Mechanics and Control, Pearson Prentice Hall, 2005.
- [12] <https://me.go.kr/home/web/index.do?menuId=10261> (사전 환경성검토 업무 매뉴얼)

Gi-Dong Park (박 기 동)



2019 Control and Instrumentation Engineering from Korea Maritime & Ocean University (B.S.)

2022 Control and Instrumentation Engineering from Korea Maritime & Ocean University (M.S.)

Field of Interests: Embedded Control Systems & Sensor Networks
Email: rlehddl35@naver.com

Jong-Hwa Kim (김 종 화)



1985 Control Engineering from Pusan National University (M.S.)

1989 Control Engineering from Pusan National University (Ph.D.)

1990~Korea Maritime & Ocean University (Prof.)

Field of Interests: Stochastic Control, Fuzzy Control, Embedded Control Systems
Email: kimjh@kmou.ac.kr

Jin-Kyu Choi (최 진 규)



2000 Control and Instrumentation Engineering from Korea Maritime & Ocean University (M.S.)

2004 Precision Machinery Systems from Tokyo Institute of Technology (Ph.D.)

~2018 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (Researcher)

2018~Korea Maritime & Ocean University (Assoc. Prof.)
Field of Interests: Robotics, Underwater Robots, Cabled Seafloor Observatory Systems
Email: jk-choi@kmou.ac.kr