

시각 장애인 보행안내를 위한 장애물 분포의 3차원 검출 및 맵핑

3D Detection of Obstacle Distribution and Mapping for Walking Guide of the Blind

윤명종, 정구영, 유기호*

(Myoung-Jong Yoon, Gu-Young Jeong, and Kee-Ho Yu)

Abstract : In walking guide robot, a guide vehicle detects an obstacle distribution in the walking space using range sensors, and generates a 3D grid map to map the obstacle information and the tactile display. And the obstacle information is transferred to a blind pedestrian using tactile feedback. Based on the obstacle information a user plans a walking route and controls the guide vehicle. The algorithm for 3D detection of an obstacle distribution and the method of mapping the generated obstacle map and the tactile display device are proposed in this paper. The experiment for the 3D detection of an obstacle distribution using ultrasonic sensors is performed and estimated. The experimental system consisted of ultrasonic sensors and control system. In the experiment, the detection of fixed obstacles on the ground, the moving obstacle, and the detection of down-step are performed. The performance for the 3D detection of an obstacle distribution and space mapping is verified through the experiment.

Keywords : obstacle detection, 3d grid map, ultrasonic sensor, walking guide robot, the blind

1. 서론

보행중인 시각장애인에게 필요한 정보로는 보행경로 상의 장애물, 요철을 포함한 보행로의 상태, 다른 보행자의 위치 등이다. 이 중 시각장애인에게 가장 중요하며 필요로 하는 정보는 보행경로 상의 장애물의 공간분포라 할 수 있다. 보행중인 시각장애인이 보행경로상에 있는 장애물의 공간분포를 인지할 수 있다면, 그 정보를 바탕으로 스스로 판단하여 안전한 경로로 보행을 할 수 있을 것이다. 장애물 정보를 주로 촉각을 통해 전달하는 기존의 보행 안내 장치(ETA, Electronic Travel Aid)들의 문제점[1]을 해결하고자, 시각의 대체감각인 촉각을 통하여 3차원 장애물 분포 정보를 전달하는 시각장애이용 보행 안내 장치의 개발이 본 연구의 최종 목표이다[2-5].

본 연구에서 제안하는 촉각을 통한 장애물의 3차원 분포 정보 전달 방법 개념도를 그림 1에 나타내었고, 그 절차는 다음과 같이 가정하였다. 첫째, 장애물의 3차원 분포 정보 획득은 기존의 자율이동로봇에서 사용하고 있는 기술들[6]을 적용 및 응용한다. 예로서, 보행중인 시각장애인에게 필요한 매달린 형태의 물체를 포함한 3차원 장애물 분포 정보를 획득하기 위해서 다수의 거리 센서를 이용한 3차원 장애물 위치 정보 획득 방법을 응용할 수 있다[5,7]. 둘째, 3차원 장애물 분포 정보를 표현하기 위해서 일반적으로 자율이동로봇 기술에서 쓰이는 격자지도 방법[8]을 응용한 3차원 격자지도(3D grid map) 방법을 적용한다. 셋째, 3차원 격자지도 방법을 통해 얻은 장애물 공간분포 지도와 촉각제시장치의 촉각자극요소와의 맵핑(mapping)을 통하여 촉각을 통한 3차원 장애

물 분포 정보 전달을 구현한다.

장애물의 분포 정보를 획득하기 위해서 기존의 자율이동로봇 등에서 주로 사용되는 센서로는 초음파 센서, 적외선 센서, 비전 센서, 레이저 센서 등이 있다[6]. 적외선 센서는 저렴하며 높은 주파수 대역을 가지고 있는 반면 장거리 측정이 곤란하다[6,9]. 비전 센서는 높은 정밀도와 2차원 정보를 획득할 수 있는 장점을 가졌으나, 조명 변화에 민감하며 처리시간이 길고 고가인 단점이 있다[6,10]. 레이저 센서는 우수한 정밀도 및 빠른 반응 속도를 갖는 반면, 고가이다[6,11]. 초음파 센서는 넓은 빔 폭 및 잡음에 영향을 받는 단점을 갖지만, 적외선 센서에 비해 장거리 측정이 가능하며 조명 변화에 무관하고 인터페이스가 비교적 간단하며 가격이 저렴

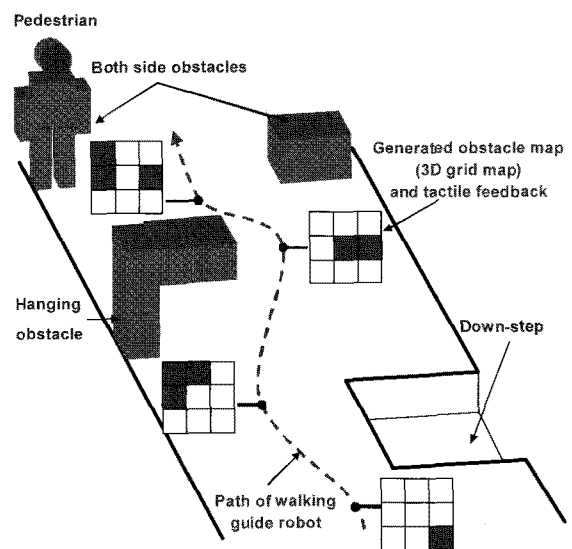


그림 1. 촉각피드백을 위한 장애물 맵 형성.
Fig. 1. Formation of obstacle map for tactile feedback.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 9. 25., 채택확정 : 2008. 12. 11.

윤명종, 정구영 : 전북대학교 대학원 메카트로닉스공학과
(mjyoon@chonbuk.ac.kr/jung902@chonbuk.ac.kr)

유기호 : 전북대학교 항공우주공학과/공업기술연구소
(yu@chonbuk.ac.kr)

한 장점 때문에 자율이동로봇에서 널리 쓰이고 있어[6,9,12, 13], 본 연구에서는 장애물의 3차원 분포 정보를 획득하기 위한 센서로서 초음파 센서에 주목하고자 한다. 자율이동로봇의 경우는 평면 2차원 장애물 분포 정보만 요구되었으나, 보행중인 시각장애인의 경우 기존의 평면 장애물 분포 정보로는 얻을 수 없는 간판 등 매달린 형태의 장애물이나 차단봉 등과 같이 옆으로 돌출된 형태의 장애물 등은 안전한 보행을 위해 꼭 필요한 정보이다. 그러므로 본 연구에서는 장애물의 3차원 정보 즉, 공간분포 정보 획득이 중요하다고 판단되어 초음파 센서를 이용하여 이를 구현하고자 한다.

관련 연구로서 휴머노이드 로봇의 보행 안전성 확보를 위하여 스테레오 비전을 이용한 장애물의 3차원 형상 측정에 관한 연구가 있으며[14,15], 또한 자율이동로봇의 주위환경 인식 중 물체 인식(object recognition)을 위하여 다수의 초음파 센서의 출력 신호의 위상차와 신경회로망 학습 방법 등을 활용한 연구가 있다[16,17]. 또한 3개의 초음파 센서를 사용하여 물체의 3차원 위치 측정에 관한 연구[7]가 있으나, 본 연구에서 목표로 하고 있는 시각장애인의 보행안내를 위한 3차원적인 장애물 검출에 적용하기에는 제안한 방법들의 인터페이스 구조나 처리 알고리즘이 복잡하며 처리시간이 길어 실시간 적용이 어렵거나 복수의 장애물 측정이 곤란한 점 등의 제약이 있다. 따라서 본 논문에서는 9개의 초음파 센서를 기하학적으로 배치하여 각각의 센서가 한정된 공간의 장애물을 검출하고 이들을 통합함으로써 장애물을 3차원적으로 검출하여 분포위치를 측정하는 방법을 제안한다. 또한, 검출된 3차원 장애물 분포 정보를 바탕으로 3차원 격자지도를 구성하는 방법을 제안하며, 제안한 방법을 평가하기 위해서 실험을 수행한다.

II. 3차원 장애물 분포 검출 및 3차원 격자지도

1. 3차원 장애물 분포 검출

장애물의 3차원 분포 검출을 위해서 다수의 초음파 센서를 사용한다. 초음파 센서는 진동자를 이용하여 초음파 신호를 발생시켜 송수신하는 센서로서, 자율이동로봇에서 주로 거리 측정 센서로 활용되고 있다[6,8,9,12,13]. 사용된 초음파 센서는 Devantech사의 SRF05이며, 센서 사양은 표 1에 나타내고 있다. 초음파 센서의 측정 원리는 송신부와 수신부가 분리된 반사형에서 일반적으로 널리 쓰이는 TOF(Time Of Flight) 방법을 사용한다[18]. TOF는 초음파의 송신 시간과 송신된 초음파가 물체에 반사되어 수신된 시간의 차를 이용하여 거리를 계산하는 방법으로, 거리 계산식을 식 (1)에 나타내고 있다. 식 (1)에서 d 는 초음파 센서에서 물체까지의 거리이고, c 는 상온에서의 음파 속도이며 그 값은 약 340 m/s 이다.

$$d = \frac{c \times TOF}{2} \quad (1)$$

시각장애인의 보행안내를 위한 장애물 분포의 3차원 검출을 위해서, 본 논문에서는 다수의 초음파 센서들을 기하학적으로 배치함으로써 장애물의 3차원 분포를 비교적 간단한 처리 알고리즘으로 검출할 수는 방법을 제안 한다. 그림 2는 9개의 초음파 센서를 이용하여 장애물의 3차원 분포를 검출

표 1. SRF05 초음파 센서 사양.

Table 1. Specification of ultrasonic sensor, SRF05.

Voltage	5 V
Frequency	40 kHz
Max. range	4 m
Min. range	1 cm
Input trigger	10 us min. TTL level pulse
Echo pulse	Positive TTL level signal, width proportional to range

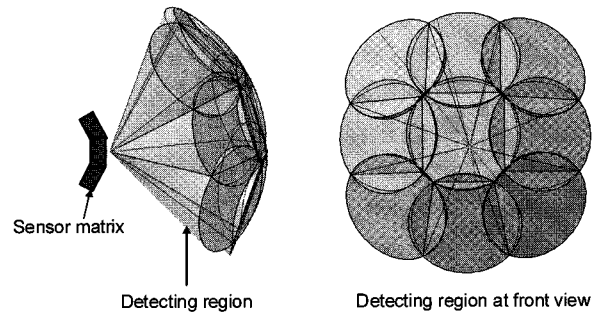


그림 2. 초음파 센서의 검출 영역 개념도.
Fig. 2. Concept of detecting region of ultrasonic sensors.

하는 방법 중 초음파 센서의 검출 영역 개념도를 나타내고 있다. 보행 경로 상의 3차원 장애물 분포를 9개의 영역으로 나누어, 각 영역을 9개의 초음파 센서가 각각 검출하며, 9개의 초음파 센서는 3×3의 센서 매트릭스를 구성한다. 센서 검출 영역 및 영역간의 중첩 부분 등을 고려하여 3×3 센서 매트릭스를 기하학적으로 배치하기 위해서는 먼저 센서당 검출 영역을 파악하여 각 센서의 지향각(tilt angle)을 결정해야 한다. 따라서 본 논문에서는 SRF05 초음파 센서의 검출 영역을 조사하기 위한 기초실험을 수행하였다.

기초실험 방법은 SRF05 초음파 센서 1개를 사용하며, 3종류의 장애물에 대해서 검출 영역을 획득한다. 장애물은 일반성을 확보하기 위해 원기둥 물체(cylinder, 직경 8cm, 높이 85cm), 책꽂이(bookcase, 폭 40cm, 높이 125cm), 사무용 칸막이(office partition, 폭 180cm, 높이 145cm)를 각각 사용하였다. 초음파 센서는 지표면으로부터 약 30cm 높이에 위치하며, 지표면이 검출되지 않도록 초음파 센서의 지향각(tilt angle)을 지표면과 수평을 이루도록 하였다. 초음파 센서와 장애물과의 거리는 50cm에서 300cm까지 50cm 간격으로 측정하였다. 각 거리에 대해서 일정한 거리를 유지하며, 초음파 센서의 지향각에 대해서 장애물의 횡방향(azimuthal direction) 위치를 변화시키며 장애물이 검출되지 않을 때까지 측정하였고, 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 각 장애물에 대한 초음파 센서의 검출 영역을 원기둥 물체의 경우는 점선으로, 책꽂이는 일점쇄선, 사무용 칸막이는 실선으로 각각 나타내고 있다. 3종류의 장애물 모두에 대해서 150cm이하의 거리에서는 ±28°~±30°의 비교적 일정한 검출 폭을 얻을 수 있지만, 원기둥 물체의 경우는 150cm, 책꽂이는 200cm, 사무용 칸막이는 250cm부터 그 검

출 폭이 좁아짐을 알 수 있다. 그 이유는 일반적으로 초음파 센서의 특성상 송신된 초음파는 거리가 멀어질수록 그 에너지가 감소하며[13], 또한 물체에 반사되어 오는 반사파의 경우도 그 에너지가 물체의 크기에 비례하기 때문이다[19]. 실험 결과 초음파 센서의 거리 검출 오차는 모든 장애물 및 측정 거리에 대해서 2cm 이하였다. 실험에서는 횡방향에 대해서만 조사하였으나, 일반적으로 초음파 센서의 검출 영역 형태는 원뿔형태(cone shape)이므로[9,19] 초음파 센서의 지향 방향에 대한 등방성을 가정하여, 공간적인 검출 영역을 추정하였다.

기초실험 결과로부터 보행경로 상의 다양한 장애물에 대한 정보를 얻을 수 있는 SRF05 초음파 센서의 검출 유효 영역은 200cm 이하의 검출 거리, $\pm 30^\circ$ 이하의 검출 폭임을 알 수 있었고, 그 영역은 그림 3에서 색칠된 영역(reliable detecting region)으로 표시하였다. 유효 검출 거리 200cm는 검출 폭 내에서 직경 8cm 이상의 크기를 갖는 장애물을 검출할 수 있음을 의미한다. 얻어진 영역을 다수의 센서 배열에서 활용할 경우에는 초음파 센서의 검출 영역 형태가 원뿔형태인 점을 고려하여 적절한 중첩 폭을 고려해야만 한다.

본 논문에서는 위에서 얻어진 결과를 바탕으로 초음파 센서 1개의 검출 폭 50° 및 센서간 중첩 폭 $\pm 5^\circ$ 로 하는 3×3 센서 매트릭스의 기하학적 배치 및 그 검출 영역을 결정하였으며, 그 개념을 그림 4에 나타내고 있다. 본 논문에서는 보행 경로상의 장애물의 3차원 분포를 9개의 영역으로 나누고, 각 영역을 9개의 초음파 센서가 각각 검출하도록 한다. 그리고 9개의 초음파 센서는 3×3 의 센서 매트릭스를 구성한다. 그림 4(a)는 센서 매트릭스 중 각 column 센서들의 검출 영역을 나타내고 있다. 횡방향의 전체 검출 범위는 약 150° 이며, 각 센서의 검출 범위는 약 50° 이다. 각 column 센서들의 지향각(tilt angle)은 왼쪽부터 -50° , 0° , 50° 이다. 공간상의 장애물 중 매달린 형태나 혹은 1m 이상의 높이에 존재하는 장애물을 검출하기 위해서 종방향 센서들 중 첫번째 row 센서들의 지향각이 50° 를 이루도록 한다. 이는 기존의 자율이동 로봇에서는 고려되지 않았으나, 보행중인 시각장애인의 경우는 또 다른 형태의 장애물로서 안전한 보행을 위해 꼭 필요한 정보이기 때문이다. 또한 계단 지형과 같이 단차가 있어 지표면 보다 낮은 지형 역시 장애물과 마찬가지로 회피해야 하므로 검출이 필요하며, 이를 검출하기 위해서 세번째 row 센서들은 -65° 의 지향각을 갖도록 한다.

2. 3차원 격자지도

다수의 초음파 센서를 이용하여 검출된 3차원 장애물 분포 정보를 축각제시장치를 통해서 전달하기 위해서는 두 정보 사이의 적절한 맵핑 과정이 필요하다[5]. 본 논문에서는 맵핑 방법으로 기존의 모바일 로봇에서 사용하는 격자지도 방법[1,6,8]을 응용한 3차원 격자지도 방법을 제안한다. 3차원 격자지도는 3×3 의 매트릭스로 구성되며, 수직면에 대한 격자지도를 진행방향으로 확장하여 일정한 공간 내에 존재하는 장애물 정보를 제공하며, 그 개념도를 그림 5(a)에 나타내고 있다.

그림 1과 5(a)에서 보이는 것처럼 장애물 분포 정보는 시각처럼 보행중인 시각장애인에게 스크린 형식으로 표현할

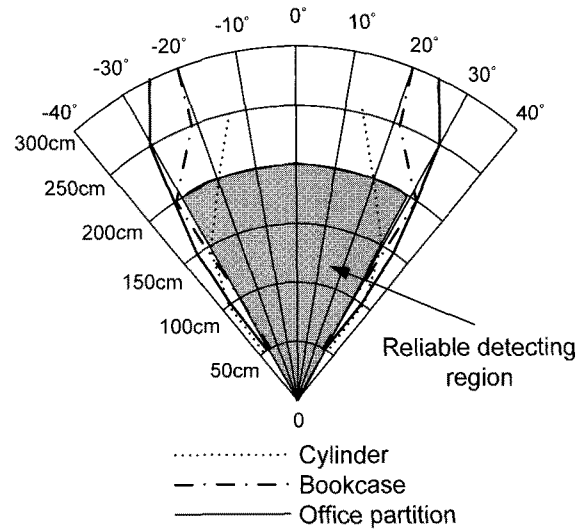
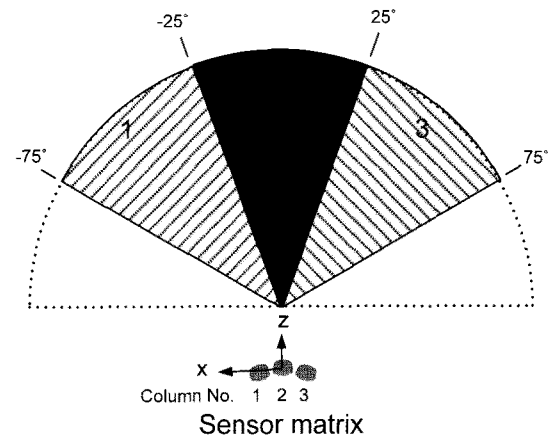
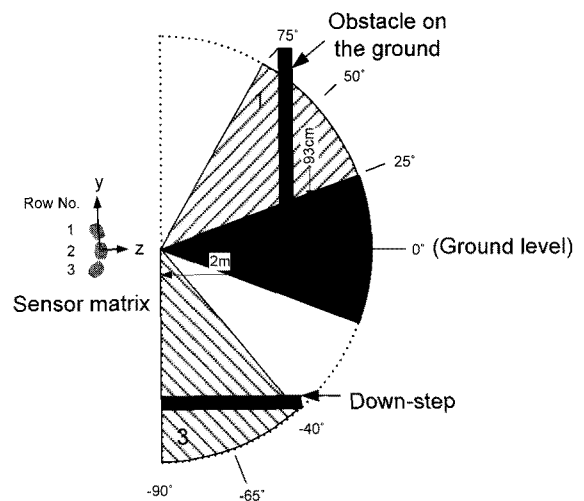


그림 3. 초음파 센서 1개의 검출 영역.
Fig. 3. Detecting region of one ultrasonic sensor.



(a) Azimuthal direction.



(b) Elevation direction.

그림 4. 3차원 장애물 분포 검출을 위한 센서 배열.
Fig. 4. Sensor arrangement for 3D detection.

수 있다. 즉, 보행경로 상의 장애물의 3차원 분포 정보를 횡방향과 종방향으로 적정한 공간 간격으로 나누어 3×3의 매트릭스를 만들고 매트릭스의 각 요소의 값은 그에 해당하는 장애물과의 거리 값을 갖게 한다. 이로써 장애물의 분포 즉, 위치 및 크기 등의 정보는 매트릭스의 각 요소 위치 집합으로 표현하며, 장애물과의 거리는 매트릭스의 각 요소 값으로 표현 함으로써 3차원 장애물 분포 정보를 모두 표현할 수 있다.

그림 5(b)는 좀 더 자세한 맵핑 방법을 나타내고 있으며, 3차원 격자지도를 구성하고 있는 3×3의 매트릭스의 column 요소의 각 위치는 횡방향 분포 정보를 담고 있고 row 요소의 각 위치는 종방향 분포 정보를 담고 있다. 예로 그림 5(b)의 3차원 격자지도는 보행경로 상의 왼쪽 상단에 장애물이 있는 경우를 표현하고 있으며, 3×3 매트릭스상에서는 첫 번째 row와 첫 번째 column의 요소인 (a,1) 값에 장애물과의 거리

값을 갖고 있다.

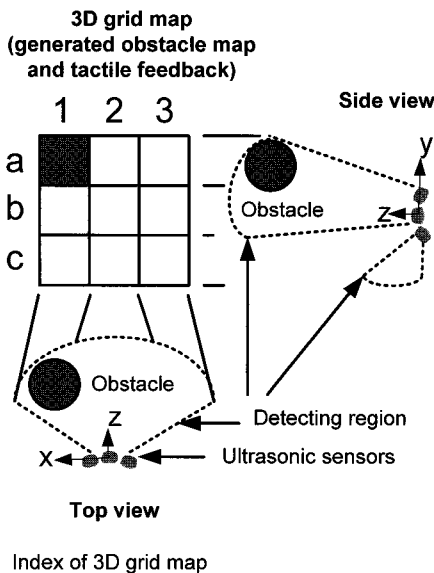
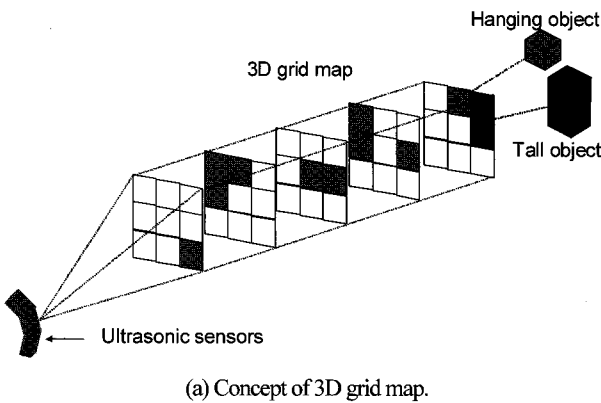
촉각제시장치에서는 3차원 격자지도에 해당하는 다수의 촉각자극요소로 촉각을 자극함으로써 장애물의 3차원 분포 정보를 보행중인 시각장애인에게 전달한다. 이때 3차원 격자지도 즉, 3×3의 매트릭스의 요소 값인 장애물과의 거리 정보는 촉각자극요소의 자극 강도나 주파수를 변화시켜 표현할 수 있다. 예를 들면 장애물이 근접할수록 자극의 강도나 주파수를 증가시킴으로써 장애물과의 거리를 표현 할 수 있다. 장애물과의 거리에 따른 자극 강도 및 주파수의 최적의 맵핑 방법을 결정하기 위해서는 추후 구체적인 검토가 필요하다.

III. 실험 및 고찰

제안한 3차원 장애물 분포 검출 및 맵핑 방법을 평가하기 위해서 실험을 수행한다. 실험은 매달린 형태의 장애물 및 복수의 장애물과 같은 고정된 장애물과, 보행중인 사람과 같이 움직이는 장애물 및 계단 지형에 대해서 각각 수행한다. 9개 즉, 3×3의 센서 매트릭스 중 첫 번째 row와 두 번째 row의 6개의 초음파 센서가 지상의 장애물 분포 검출 실험에 사용되며, 세 번째 row의 초음파 센서가 계단 지형 검출 실험에 사용된다. 실험의 편의를 위해서 실험 중 측정 위치는 고정 하며, 고정 장애물과 이동 장애물을 각각 검출한다. 이동 장애물의 검출은 장애물이 분포되어 있는 공간을 보행안내 시스템이 이동할 경우 이동에 따라 변하는 장애물까지의 상대 거리를 측정하는 조건과 유사하다. 실험을 통해서 장애물의 3차원 분포를 적절히 검출 함으로써 시각장애인 보행안내에 적용 가능성을 보인다.

1. 고정된 장애물 분포 검출

실험에 사용된 초음파 센서는 Devantech사의 SRF05 송수신 분리 반사형 6개이며, 신호 획득 및 처리를 위해 National Instruments사의 PCI-6221 DAQ 보드 및 LabVIEW 프로그램을 이용하였다. 그림 6은 실험에 사용된 방법의 흐름도를 나타내고 있다. 기존의 EERUF (Error Eliminating Rapid Ultrasonic Firing) 방법[20]을 응용하여, 보다 효율적으로 다수의 초음파 센서 사용에 따른 센서간의 간섭 및 오류를 최소화하기 위해서, 검출 영역이 서로 다르며 센서간 중첩 영역 폭이 비교적 작은 센서들을 3개씩 2개의 그룹(SET (a), (b))으로 나누어 각각 구동 시켰으며, 구동 순서도를 그림 7에 나타내고 있다. 본 논문에서 사용된 초음파 센서의 매뉴얼상의 검출 거리는 4m이나, 실제 실험에서는 4m 이상에서도 검출되었다. 따라서 본 논문에서는 초음파 센서의 최대 검출 거리를 5m로 제한하고자 에코 펄스의 카운터 주기를 최대 30ms로 하였으며 (그림 6), 안전율(safety factor)을 고려하여 초음파 센서의 트리거 신호 발생 주기를 40ms로 하였다(그림 6, 7). 그림 6에서 먼저 DAQ 보드의 2개의 DIO port를 이용하여 2개의 그룹으로 된 6개의 초음파 센서들의 구동을 위한 2개의 트리거 신호를 순차적으로 발생시키고, 각각의 센서들로부터 출력되는 에코 펄스를 DAQ 보드의 6개의 카운터 포트를 이용하여 TOF를 측정하였다. 측정된 TOF로 장애물과의 거리를 계산하였으며, 측정된 데이터를 바탕으로 3차원 격자지도를 구성하여 PC 화면에서 실시간으로 가시화하였다.



- Index of 3D grid map
- 1: -75° ~ -25° azimuth a: Hanging obstacle
 - 2: -25° ~ 25° azimuth b: Small obstacle
 - 3: 25° ~ 75° azimuth c: Step obstacle

(b) Mapping method in 3D grid map.

그림 5. 3차원 격자지도

Fig. 5. 3D grid map.

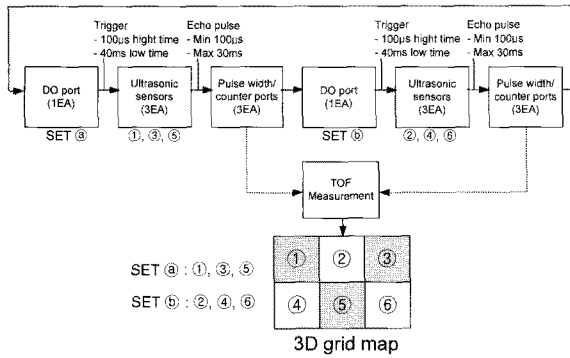


그림 6. 장애물 분포의 3차원 검출 흐름도.
Fig. 6. Flow diagram for 3D detection of obstacle distribution.

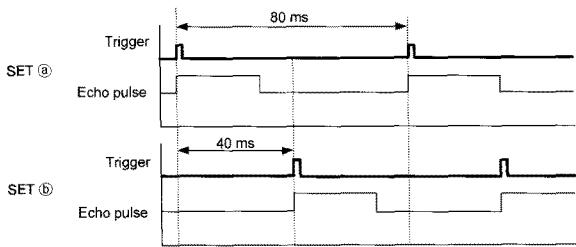


그림 7. 간섭 배제를 위한 순서도.
Fig. 7. Timing diagram for elimination of interference.

위의 일련의 과정을 반복하여 장애물의 분포 정보를 3차원적으로 획득하며, 그 결과 초당 약 12개의 3차원 격자지도 데이터를 얻을 수 있다. 3차원 격자지도 데이터의 샘플링 주기는 80ms이다. 일반적인 보행 속도를 고려하면 장애물의 실시간 처리가 가능한 수준이다. 또한 일반적인 보행인의 이동 속도를 3km/h ~ 4km/h라 가정하면, 3차원 격자지도 데이터의 샘플링 주기(80ms) 동안 보행인은 7cm ~ 9cm를 이동하게 되므로, 보행인 정도의 움직임을 갖는 장애물의 실시간 검출은 가능한 수준이다.

그림 8과 9는 고정된 장애물 분포 검출 실험을 통해 얻은 결과들의 대표적인 예이며, 매달린 형태의 장애물 검출 결과 및 복수의 장애물 검출 결과를 각각 나타내고 있다. 그림 8(a)와 (b)는 실제 장애물의 평면 분포 정보와 사진을 각각 나타내고 있으며, 그림 8(c)는 실험 장치를 통해서 얻은 결과인 3차원 격자지도를 나타내고 있다. 3차원 격자지도에서 각 요소의 위치는 장애물 분포를 나타내고 있으며, 장애물과의 거리는 각 요소의 명암의 차이로 표시하고 있다. 그림 8에서 직경 약 22cm의 농구공을 정면 방향의 140cm 높이에 매달아, 매달린 형태의 장애물로 간주하여 장애물 분포 검출 실험을 수행 하였다. 그 결과 그림 8(c)의 3차원 격자지도의 3x3 매트릭스에서 (a2)의 요소 값이 장애물과의 거리 값을 가지고 있어 옅은 회색으로 표시되며, 그 외의 요소 값들은 2m 이상의 값들을 가지고 있어 흰색으로 표시된다.

그림 9에서 25cm(세로폭)×40cm(가로폭)×125cm(높이) 크기의 책꽂이가 정면으로부터 왼쪽에 위치하며, 33cm(세로폭)×46cm(가로폭)×36cm(높이) 크기의 상자가 정면으로부터 오른쪽에 위치하는 복수의 장애물 분포 검출 실험을 수행하였

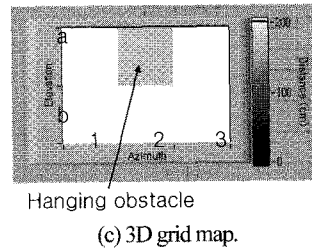
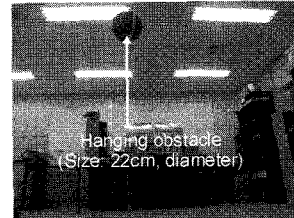
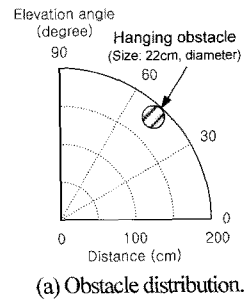


그림 8. 매달린 형태 장애물 검출 결과.
Fig. 8. Experimental result for hanging obstacle.

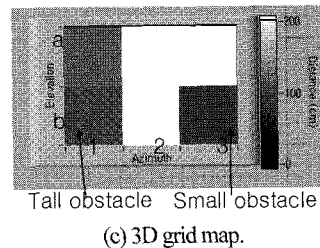
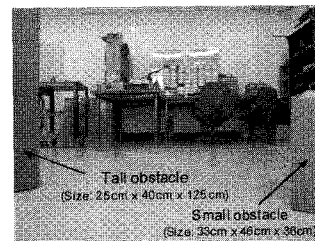
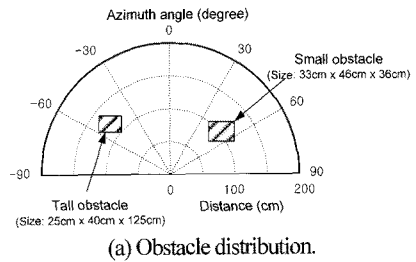


그림 9. 복수의 장애물 검출 결과.
Fig. 9. Experimental result for both side obstacles.

으며, 그 결과 그림 9(c)의 3차원 격자지도를 얻었다. 그림 9(c)의 3차원 격자지도 상에서 책꽂이는 (a,1)과 (b,1)의 요소들로 표시되었으며, 상자는 (b,3)의 요소로 표시되었다. 또한 (a,2)와 (b,2)의 공간에는 장애물이 위치하고 있지 않으므로 나타남으로써, 보행경로 상에서 이와 같이 표시 될 경우 이 공간을 안전한 경로로 채택할 수 있을 것이다.

2. 움직이는 장애물 검출

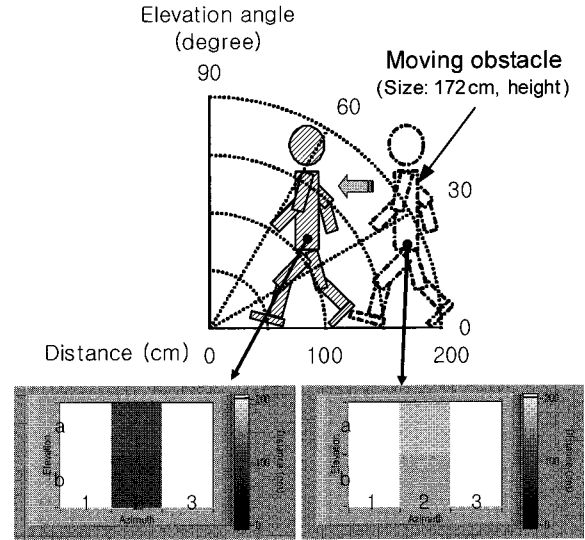
시각장애인이 보행 중에는 고정된 장애물뿐만 아니라 다른 보행인과 같이 움직이는 장애물에 대한 정보 또한 필요하다. 본 논문에서 제한한 장애물의 3차원 분포 검출 및 3차원 격자지도 구성 방법을 움직이는 장애물에 대해서 적용하여 적절히 검출됨을 평가하기 위해서 실험을 수행하였다. 움직이는 장애물 검출 실험 방법은 고정된 장애물 분포 검출 실험 방법과 동일하며, 움직이는 보행인에 대해서 실험을 수행한다. 그림 10은 실험을 통해 얻은 결과들의 대표적인 예이며, 초음파 센서 배열에 대해서 정면에서 다가오는 경우와 정면을 중심으로 오른쪽에서 왼쪽으로 즉, 횡방향으로 이동하는 경우의 결과를 각각 나타내고 있다. 그림 10(b)는 그림 10(a)의 결과 중 3차원 격자지도의 (a,2)와 (b,2)의 요소 값들을 시간에 따라 나타내고 있으며, 움직이는 장애물이 접근함에 따라 두 요소 값들 즉, 거리 값들이 시간에 따라 감소하고 있다. 거리 값들이 시간에 따라 선형적으로 감소하는 경향을 보이지 않는 이유는 보행인의 보행 속도가 일정하지 않기 때문이다. 실험들을 통해서 공간상의 장애물의 위치, 크기, 거리, 움직임을 적절히 검출 함을 알 수 있었으며, 시각 장애인 보행 안내장치로의 적용 가능성을 보였다.

그림 10(c)에서 보행인의 움직임 분포 중 횡방향 약 25° 부근과 -25° 부근에서는 초음파 센서 배열간 중첩 검출 영역으로, 실제 장애물의 분포 영역 보다 넓게 검출되는 결과를 얻었다. 예로, 약 -25° 부근에서는 3차원 격자지도의 (a,1) 및 (b,1) 요소들과 (a,2) 및 (b,2) 요소들에서 장애물이 있는 것으로 표시되었다. 실제 보행 중임을 가정하면, 언급한 예의 경우 (a,3) 및 (b,3) 요소들에서는 장애물이 없는 것으로 표시되므로 이 영역을 안전한 경로로 채택할 수 있을 것이다. 반면 이러한 중첩 검출을 제거하기 위해서 센서 배열을 조정하여 중첩을 없애면, 검출할 수 없는 영역이 존재하는 문제점이 발생하게 된다.

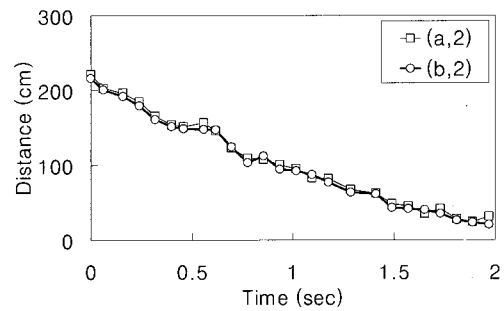
3. 계단 지형 장애물 검출

계단 지형 검출 실험 장치는 SRF05 초음파 센서 1개 및 제어 시스템(PCI-6221 DAQ 보드, LabVIEW)으로 구성되며, 실험 방법을 그림 11에 나타내었다. 예비 실험을 통해서 지표면 즉, 바닥면을 검출할 수 있는 초음파 센서의 최소 지향각(tilt angle)은 45°임을 알 수 있었다. 이 값은 Borenstein의 연구에서도 비슷한 값인 40°~45°라고 언급하고 있다[21]. 따라서 계단 지형 검출 실험에서는 초음파 센서의 지향각을 45°, 55°, 65°, 90°에 대해서 실험을 수행하였다. 또한 센서와 계단 지형과의 거리 30cm, 46cm, 62cm에 대해서 각각 수행하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다.

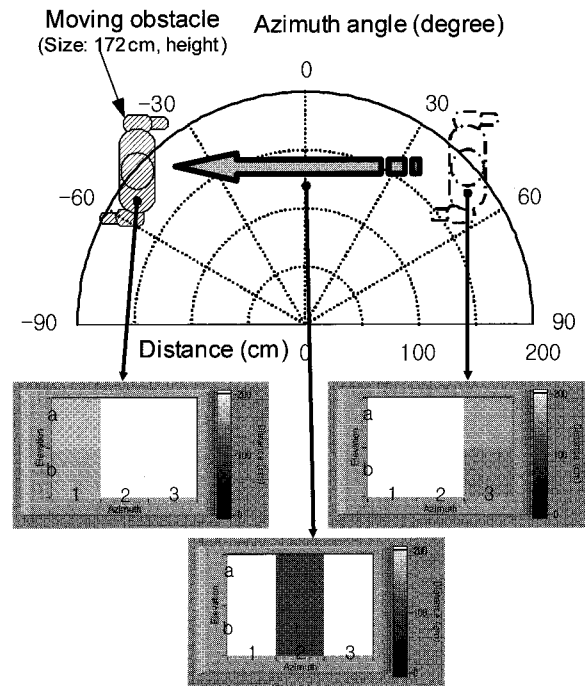
표 2에서 계단 지형 검출 오차는 모든 조건에서 약 3cm 이하로 나타났으며, 일반적으로 이 오차는 초음파 센서의 지향각이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 보행로의 경사



(a) Approaching obstacle in front side.



(b) (a,2) & (b,2) data at 3D grid map from (a).



(c) Moving obstacle at azimuthal direction.

그림 10. 움직이는 장애물 검출 결과.
Fig. 10. Experimental result for moving obstacle.

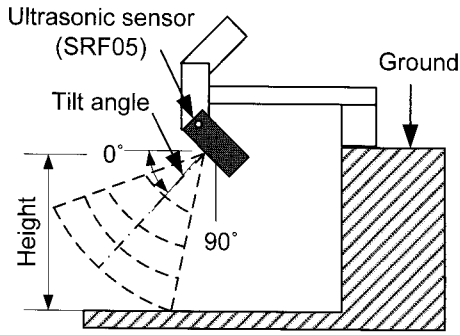


그림 11. 계단 지형 장애물 검출 실험 방법.
 Fig. 11. Experimental method for detection of down-step.

표 2. 계단 지형 장애물 검출 실험 결과.

Table2. Experimental result of detection of down-step.

Tilt angle (degree)	Height (cm)		
	30	46	62
45	32.25	47.77	64.43
55	31.14	46.95	63.05
65	30.74	46.35	62.82
90	30.07	46.12	62.37

(a) Measurement height.

Tilt angle (degree)	Error (cm)		
	30	46	62
45	2.25	1.77	2.43
55	1.14	0.95	1.05
65	0.74	0.35	0.82
90	0.07	0.12	0.37

(b) Measurement error.

및 보행안내장치의 진동 등의 주위환경을 고려할 경우 계단 지형 즉, 지표면 보다 낮은 지형을 효과적으로 검출하기 위해서는 초음파 센서의 지향각이 55° 이상이 되어야 함을 유추할 수 있다. 계단 지형과 같이 지표면 보다 낮은 지형에 대한 정보는 보행중인 시각장애인 뿐만 아니라 보행안내장치의 안전성을 확보하기 위해서 필요한 정보 중 하나이다.

IV. 결론

본 논문에서는 보행중인 시각장애인에게 가장 중요하며 필요한 보행경로 상의 3차원적인 장애물 분포를 9개의 초음파 센서를 이용하여 검출하고, 검출된 정보를 바탕으로 3차원 격자지도를 구성하는 방법을 제안하였다. 또한 다수의 초음파 센서 사용에 따른 센서간 간섭 및 오류와 처리 시간을 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 평가하기 위해서 실험을 수행하였으며, 실험을 통해서 매달린 형태의 장애물을 포함한 고정된 단·복수의 장애물 및 움직이는 장애물 분포와 계단 지형을 적절히 검출함으로써 시각장애이용 보행안내장치로의 적용 가능성을 확인 하였다.

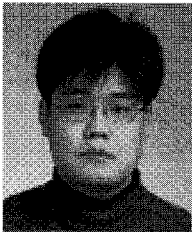
향후에는 본 논문에서 얻어진 결과들을 개발 중인 촉각제

시장치와 연동하여 시각장애이용 보행안내장치를 개발할 예정이다.

참고문헌

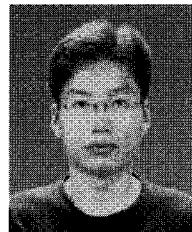
- [1] S. Shoval, I. Ulrich and J. Borenstein, "Robotics-based obstacle-avoidance systems for the blind and visually impaired," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 10, no. 1, pp. 9-20, Mar. 2003.
- [2] 윤명중, 유기호, 김남균, "진동자극배열에 의한 형상 인식의 정신허리학적 실험," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제11권 제11호, pp. 943-949, 2005.
- [3] 윤명중, 유기호, "대체감각활용 - 촉각 인식 및 응용," 제어·로봇·시스템학회지, 제13권 제3호, pp. 39-46, 2007.
- [4] M. J. Yoon and K. H. Yu, "Psychophysical experiment of vibrotactile pattern perception by human fingertip," *IEEE Transactions on Neural System and Rehabilitation Engineering*, vol. 16, no. 2, pp. 171-177, Apr. 2008.
- [5] 윤명중, 유기호, 강정호, "촉각제시에 의한 시각장애인 보행안내에 관한 연구," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제13권 제8호, pp. 783-789, 2007.
- [6] 최병준, 김수일, 김춘승, 이연정, 이상룡, "자율이동로봇을 위한 초음파 센서 응용기술," 제어·자동화·시스템공학회지, 제8권 제5호, pp. 31-42, 2002.
- [7] S. Aoyagi, S. Okabe, K. Sasaki, and M. Takano, "Measurement of 3-D position and orientation of a robot using ultrasonic waves," *Proceedings of 1991 International Conference on Control and Instrumentation*, vol. 3, no. 28, pp. 2466-2471, Oct. 1991.
- [8] J. Borenstein and Y. Koren, "Histogramic in-motion mapping for mobile robot obstacle avoidance," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 7, no. 4, pp. 535-539, Aug. 1991.
- [9] 이상원, 옥경환, 양현석, 박노철, "센서융합을 이용한 부정지형 적응형 이동로봇의 장애물 회피," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제13권 제2호, pp. 93-100, 2007.
- [10] K. Okada, M. Inaba, and H. Inoue, "Walking navigation system of humanoid robot using stereo vision based floor recognition and path planning with multi-layered body image," *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems*, vol. 3, pp. 2155-2160, Oct. 2003.
- [11] 정우진, 이동희, 최창혁, "레이저 거리 센서 및 이동로봇 제어에의 응용," 제어·자동화·시스템공학회지, 제8권 제5호, pp. 17-22, 2002.
- [12] A. Curran and K. J. Kyriakopoulos, "Sensor-based self-localization for wheeled mobile robots," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Atlanta, vol. 1, pp. 8-13, May 1993.
- [13] 안철기, 이민철, "CARTI 로봇의 목표물 검출과 장애물 검출을 위한 RF-초음파 센서 시스템 개발," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제9권 제12호, pp. 1009-1018, 2003.
- [14] K. Okada, T. Ogura, A. Haneda, and M. Inaba, "Autonomous 3D walking system for a humanoid robot based on visual step recognition and 3D foot step planner," *Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 625-630, Apr. 2005.

- [15] J. Gutmann, M. Fukuchi, and M. Fujita, "A floor and obstacle height map for 3D navigation of a humanoid robot," *Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1078-1083, Apr. 2005.
- [16] M. R. Strakowski and B. B. Kosmowski, "An ultrasonic obstacle detector based on phase beamforming principles," *IEEE Sensors Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 179-186, Feb. 2006.
- [17] S. Watanabe and M. Yoneyama, "An ultrasonic visual sensor for three-dimensional object recognition using neural networks," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 8, no. 2, pp. 240-249, Apr. 1992.
- [18] D. Marioli, C. Narduzzi, C. Offelli, D. Petri, E. Sardini, and A. Taroni, "Digital time-of-flight measurement for ultrasonic sensors," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 41, no. 1, pp. 93-97, Feb. 1992.
- [19] P. Krammer and H. Schweinzer, "Localization of object edges in arbitrary spatial positions based on ultrasonic data," *IEEE Sensors Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 203-210, Feb. 2006.
- [20] J. Borenstein and Y. Koren, "Error eliminating rapid ultrasonic firing for mobile robot obstacle avoidance," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 11, no. 1, pp. 132-138, Feb. 1995.
- [21] J. Borenstein and Y. Koren, "Obstacle avoidance with ultrasonic sensors," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 4, no. 2, pp. 213-218, Apr. 1988.



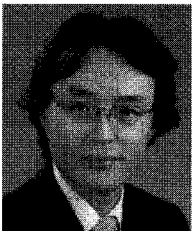
윤명종

2000년 전북대학교 항공우주공학과 졸업. 2002년 동 대학원 메카트로닉스공학과 석사. 2009년 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사. 관심분야는 촉각센싱 및 제시, 메카트로닉스 및 로보틱스.



정구영

2000년 전북대학교 항공우주공학과 졸업. 2002년 동 대학원 메카트로닉스공학과 석사. 2009년 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사. 관심분야는 메카트로닉스 및 로보틱스, 생체신호모니터링.



유기호

1988년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업. 1990년 동 대학원 기계공학과 석사. 1994년 일본 Tohoku 대학 박사. 1994년 4월~1997년 8월 동대학 Research Associate. 1997년 9월~1998년 2월 한국 과학기술원 연구원. 2004년 2월~2005년

1월 미국 MIT 방문교수. 1998년 3월~현재 전북대학교 기계항공시스템공학부 전임강사, 조교수, 부교수 및 항공우주공학과 부교수. 관심분야는 촉각센싱 및 제시, 인간-로봇 상호작용, 생체신호모니터링, 메카트로닉스 및 로보틱스.