

코드를 이용한 초음파 동시구동 시스템

Simultaneous Driving System of Ultrasonic Sensors Using Codes

김 춘 승, 최 병 준, 이 연 정*, 이 상 룡

(Chun Seung Kim, Byung-Jun Choi, Yun-Jung Lee, and Sang-Ryong Lee)

Abstract : Ultrasonic sensors are widely used in mobile robot applications to recognize external environments by virtue that they are cheap, easy to use, and robust under varying lighting conditions. In most cases, a single ultrasonic sensor is used to measure the distance to an object based on time-of-flight (TOF) information, whereas multiple sensors are used to recognize the shape of an object, such as a corner, plane, or edge. However, the conventional sequential driving technique involves a long measurement time. This problem can be resolved by pulse coding of ultrasonic signals, which allows multi-sensors to be emitted simultaneously and adjacent objects to be distinguished. Accordingly, this paper presents a new simultaneous coded driving system for an ultrasonic sensor array for object recognition in autonomous mobile robots. The proposed system is designed and implemented. A micro-controller unit is implemented using a DSP, Polaroid 6500 ranging modules are modified for firing the coded signals, and a 5-channel coded signal generating board is made using a FPGA. To verify the proposed method, experiments were conducted in an environment with overlapping signals, and the flight distances for each sensor were obtained from the received overlapping signals using correlations and conversion to a bipolar PCM-NRZ signal.

Keywords : ultrasonic sensor, coded driving system, sensor array, barker code

I. 서론

최근 청소로봇과 같이 실내에서 스스로 이동하는 로봇의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 자율 이동로봇이 실내에서 장애물과 충돌하지 않고 정해진 목표지점으로 이동하기 위해서는 로봇의 외부 환경을 인식하는 기능이 필요하다. 로봇이 외부 환경을 인식하기 위해서 거리 측정센서가 이용되는데, 자율 이동로봇에 쓰이는 거리 측정센서에는 초음파센서, 적외선센서, 시각센서 등이 있다. 초음파센서는 빔폭이 넓어 각분해능(Angle resolution)이 나쁘고, 또 물체의 재질, 물체 표면의 불균일 정도나 기술기에 따라 반사파의 검출이 안되어 거리 측정이 불가능한 경우가 발생하는 단점에도 불구하고[1], 다른 센서에 비해 값이 싸고, 구동 장치와 신호처리 장치가 비교적 간단하며, 시각센서와는 달리 어두운 곳에서도 거리측정이 가능하다는 장점 때문에 많이 이용된다[2].

자율 이동로봇에는 보통 여러 개의 초음파센서가 사용되는데, 짧은 시간에 많은 거리 정보를 얻을 수 있기 때문이다. 하지만 여러 개의 초음파센서를 동시에 사용할 경우, 각각의 센서에서 나온 신호가 서로 중첩되어 정확한 거리 계산이 어렵다. 이러한 신호의 중첩 현상을 피하기 위해 센서의 위치를 신호가 서로 중첩이 안 되는 형태로 배치하거나[3], 하나의 센서에서만 신호를 송신하고 다른 센서들로 수신하는 시스템이 이용된다[4,5]. 다중 초음파센서의 동시 구동을 위한 하나의 방법으로 코드화를 이용한 초음파센서 시스템이 사용된다.

기존의 초음파센서 동시구동 시스템에 대한 연구에서 의

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 2. 19., 채택확정 : 2004. 7. 20.

김춘승, 최병준, 이연정 : 경북대학교 전자공학과

(kimchs76@hotmail.com/mouse@palgong.knu.ac.kr/yjlee@ee.knu.ac.kr)

이상룡 : 경북대학교 기계공학과(srlee@knu.ac.kr)

※ 본 논문은 산업자원부 차세대신기술개발사업에서 지원하여 연구하였습니다.

사 랜덤 코드(Pseudo-random code)[6]나 골레이 코드(Golay code)[7,8]가 이용되었다. 초음파센서의 최소 측정가능 거리는 코드의 길이에 비례하는데, 이들 기존의 연구에서 사용된 코드들은 코드의 길이가 길어 근거리에서의 거리측정이 불가능하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 길이가 짧은 코드들을 이용한 초음파 동시 구동 시스템을 제안한다. 초음파센서를 동시구동하기 위해 각 센서에서 송신할 코드와 음파를 코드화 하는 변조방식의 선택조건에 대해 알아보고, 초음파 인터페이스 하드웨어 시스템에 대하여 기술하며, 이 시스템을 이용하여 중첩된 초음파센서 신호에서 신호를 송신한 센서와 수신한 센서간의 거리를 측정할 수 있음을 실험적으로 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 기본적인 초음파센서를 이용한 거리측정 방법에 대해 살펴보고, III장에서는 초음파센서 동시 구동 시스템에 사용될 코드들의 조건과 변조방식에 대해 설명한다. IV장에서는 초음파센서에 수신된 신호의 처리 과정에 대해 설명하고, V장에서는 초음파 동시 구동 시스템을 위한 하드웨어 구성과 인터페이스에 관하여 살펴보고, VI장에서는 실제 실험을 통해 시스템을 검증한다. 마지막으로 VII장에서는 결론을 맺는다.

II. 초음파센서를 이용한 거리측정법

1. 에코 신호를 이용한 거리측정법

일반적인 초음파센서를 이용한 거리측정 방법으로 에코신호(반사파)의 TOF(Time of flight) 측정 방법이 있다[9][10]. 초음파센서에서 음파를 송신하면 음파가 물체에 반사되어 다시 초음파센서에 수신된다. 이렇게 수신된 에코신호의 크기가 일정 문턱 값(Threshold level) 이상이 되는 시간, 즉 TOF를 구하여 센서와 물체간의 거리를 계산하는 방법이 에코신호를 이용한 거리측정 방법이다.

센서와 물체 사이의 거리를 구하는 식은 (1)과 같다.

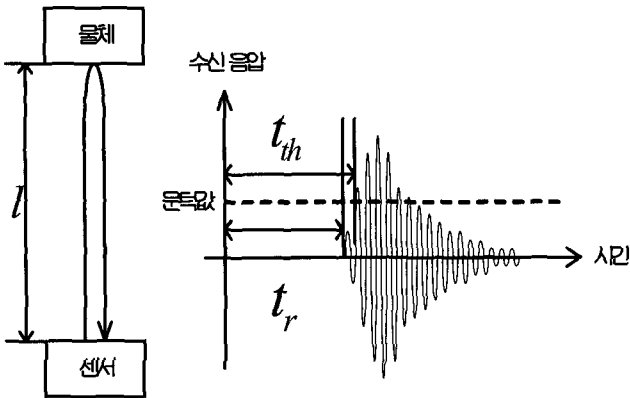


그림 1. 초음파센서에서 측정된 반사파와 TOF.
Fig. 1. Observed echo and TOF using an ultrasonic sensor.

$$l_c = \frac{c \times t_{th}}{2} \quad (1)$$

여기서 c 는 공기 중 초음파의 속도($20^\circ C$ 에서 $343.5m/s$)이고, t_{th} 는 들어오는 에코신호의 값이 문턱 값 이상이 되는 시간, 그리고 l_c 은 센서와 물체간의 거리이다. 에코신호를 이용한 TOF 방법의 경우 수신되는 음압의 크기가 완만하게 증가하거나 노이즈에 의해 왜곡이 생기면 문턱 값에 따라 실제로 신호가 들어오는 시간과 측정시간 사이에 오차가 발생하고, 거리의 오차도 비례하여 발생한다.

2. 정합필터(Matched filter)를 이용한 거리측정법

정합필터를 이용한 거리 측정법은 코드를 이용하는 초음파센서 시스템에서 주로 사용된다. 먼저 정합필터를 이용한 거리측정 방법을 사용하기 위해서는 자기 상관함수(Auto-correlation function : ACF)의 값이 임펄스 형태가 되는 코드를 선택하여 초음파센서에서 송신한다. 물체에 반사되어 센서에 수신된 에코신호와 구하고자 하는 코드의 ACF 값을 구하면 신호가 수신되는 정확한 시간에 임펄스와 같은 신호가 생긴다. 이러한 ACF 값의 최대지점을 이용하여 TOF를 계산하고 거리 값을 구하는 방법이 정합필터를 이용한 거리측정법이다. 이때 수신된 신호와 구하고자 하는 코드와의 ACF 값이 정합필터 결과값이다. 원하는 신호가 수신될 때 정합필터의 결과값이 급격하게 증가되므로 에코신호를 이용한 TOF방법보다 문턱 값에 의한 오차가 적게 나타난다.

정합필터의 결과값 $y(k)$ 를 구하는 식은 (2)와 같다.

$$y(k) = \sum_{i=1}^N c(i)r(k+i-N) \quad (2)$$

여기서 $c(i)$ 는 정합필터를 통해 찾고자 하는 길이 N 인 코드 중 i 번째 값이고, $r(k)$ 는 센서에 수신되는 신호이다.

다중 초음파센서 시스템의 경우 각각의 센서에 서로 다른 코드화 된 초음파신호를 송신하고 수신한다. 이 경우 각 센서에 어느 센서에서 송신된 신호가 수신되는지를 파악할 필요가 있다. 각 센서에서 송신하는 코드의 정합필터들을 통과

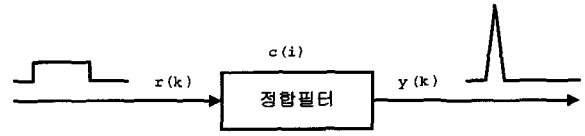


그림 2. 정합필터.
Fig. 2. Matched filter.

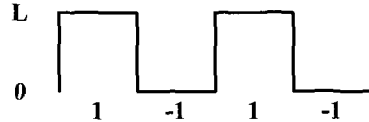


그림 3. 단극성 NRZ PCM.
Fig. 3. Unipolar NRZ PCM.

시킴으로 수신되는 신호가 어느 센서에서 송신되는 신호인지 파악할 수 있다. 두 개의 초음파센서를 동시구동하는 본 논문에서도 정합필터를 이용한 거리측정법을 이용하여 거리를 측정한다.

III. 초음파신호의 코드화 방법

코드를 이용한 초음파 동시구동 시스템은 여러 개의 초음파센서에서 각각 서로 다른 코드화 된 신호를 동시에 송신하는 시스템이다. 본 장에서 초음파센서에서 코드화 된 신호를 송신할 때 쓰이는 변조 방법에 대해 기술하고, 코드화에 쓰일 코드인 Barker코드와 의사 Barker코드들의 특징과 선택조건에 대해 알아 본다.

1. 코드 변조 방식

기존의 코드를 이용한 초음파센서 시스템 연구에서 Hernandez[8] 등과 Urena[11] 등은 초음파센서의 코드화에 위상변조를 이용하였다. 이러한 위상변조를 이용하는 시스템의 경우 위상변조 하드웨어와 위상검출 하드웨어가 추가적으로 필요하기 때문에 하드웨어 적으로 복잡한 구조를 가지게 된다. 또한, 초음파 센서의 동특성으로 인하여 정확한 위상변조가 어렵다. 이러한 한계점을 극복하기 위하여, 본 논문에서는 Non-return to zero(NRZ) 펄스 코드변조(Pulse code modulation : PCM)를 사용하여 위상변조 및 검출 하드웨어의 추가 없이 코드화된 신호를 처리할 수 있도록 한다.

NRZ PCM은 초음파센서에서 신호를 송신할 때는 '1' 비트일 때 초음파를 송신하고, '-1' 비트일 때는 초음파를 송신하지 않는 것으로 초음파 신호를 코드화 하는 방법이다.

센서에 수신되는 신호는 단극성 NRZ PCM 형태의 신호 즉 0과 L 의 값을 가지는 신호가 되는데, 정합필터를 사용하기 위해서는 쌍극성 NRZ PCM 신호 즉 L 과 $-L$ 값을 가지는 신호가 필요하다.

그래서 단극성 NRZ PCM 신호를 쌍극성 NRZ PCM 신호로 변환하는 알고리즘을 추가하여 쌍극성 NRZ PCM 형태로 변환시킨 후 정합필터를 사용한다. 쌍극성 NRZ PCM 신호로 변환하는 알고리즘에서 수신신호가 있는 경우와 코드의 0값을 구별하기 위해서는 사용되는 코드의 시작 비트와 끝 비트의 값이 모두 '1'이 되어야 한다.

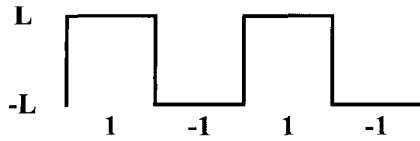


그림 4. 쌍극성 NRZ PCM.
Fig. 4. Bipolar NRZ PCM.

2. Barker 코드

정합 필터를 이용한 거리측정의 경우 정합필터의 결과값이 임펄스 형태가 되는 코드를 이용한다. 정합필터의 결과값이 임펄스 형태를 취하는 대표적인 코드로는 Barker코드, Gold코드, 그리고 Kasami코드 등이 있는데, 코드가 완전히 겹쳐지는 동기 지점에서 ACF 값이 코드의 길이 값으로 최대가 되고 나머지 지점에서는 절대치가 1이하의 ACF 값을 가지는 코드들이다. 하지만 Gold코드와 Kasami코드는 주기 상관함수(Periodic correlation function)의 경우에만 위 특성이 적용된다[15,16]. 본 논문에서는 비주기 정합필터를 사용하므로 비주기 상관함수(Aperiodic correlation function) 특성 좋은 Barker 코드를 사용한다.

Barker코드의 정의를 (2)를 이용하여 식으로 나타내면 (3)과 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\left| \sum_{i=1}^N (c_b(i))^2 \right| = N \quad (3)$$

$$\left| \sum_{i=1}^N c_b(i)c_b(k+i-N) \right| \leq 1 \quad (k \neq N) \quad (4)$$

여기서 $c_b(i)$ 는 Barker코드의 i 번째 비트이고, N 은 코드의 길이이다.

Autdenaert[12] 등은 단일 초음파센서 시스템에서 Barker코드로 코드화 된 신호를 송신하는 방법을 제안하였다. 정합필터 결과값의 증가가 급격하기 때문에 에코를 이용한 거리측정법에 비해 문턱 값에 의한 오차가 적다는 것을 검증하였다. Urena[11] 등은 FPGA를 이용하여 Barker코드를 위상변조로 코드화하여 송신하는 단일 초음파센서 시스템을 구성하였고, 실제로 거리측정 실험으로 검증하였다.

Barker코드는 코드길이와 동기 지점에서의 ACF 값이 같다. 따라서 코드길이가 길수록 ACF 값이 임펄스에 더 가까운 형태가 되어 문턱 값에 의한 오차가 줄어들게 된다. 지금까지 알려진 가장 긴 Barker코드는 13비트 Barker코드이다. 그래서 13비트 Barker코드를 선택하였다. 13비트 Barker코드(1 1 1 1 1 - 1 - 1 1 1 - 1 1 - 1)의 형태 그림 5와 같고 그 ACF 값은 그림 6과 같다.

본 논문에서 제안하는 코드를 이용한 동시구동 초음파 시스템의 경우 사용되는 센서 수만큼의 코드가 필요하다. 13비트 Barker코드는 하나만 존재하므로, Barker코드와 유사하게 ACF의 결과값이 임펄스 형태가 되는 다른 코드를 찾을 필요가 있다.

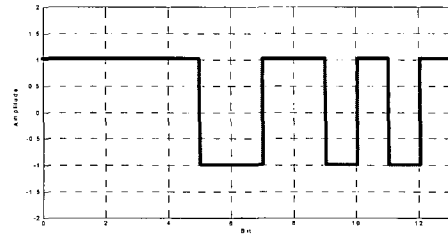


그림 5. 13비트 Barker 코드.
Fig. 5. 13bit Barker code.

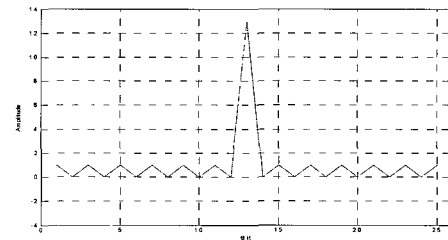


그림 6. 13비트 Barker 코드의 ACF.
Fig. 6. ACF of 13bit Barker code.

3. 의사 Barker 코드

정합필터를 이용한 거리측정을 하기 위해서는 코드로 사용될 코드 역시 Barker코드와 유사하게 ACF 값이 가능한 한 임펄스가 되는 코드여야 한다. 그 외에도 사용될 코드의 선정에 있어 고려할 사항이 몇 가지 있다. 먼저 상호 상관함수(Cross-correlation function : CCF) 값을 고려해야 한다. 센서를 동시에 구동할 경우 수신되는 신호에는 여러 개의 센서에서 송신하는 코드 성분이 모두 포함된다. 만약 센서에서 송신하는 코드간의 CCF 값이 클 경우, 다른 코드가 수신되어도 원하는 코드로 잘못 인식할 가능성이 있다. 그래서 최대한 CCF 값이 작은 코드 쌍을 선택해야 한다. 코드 쌍을 찾는 방법으로 MATLAB을 이용한 컴퓨터 검색(Computer searching) 방법을 사용한다. 먼저 Barker코드와 같은 크기인 모든 13비트 코드를 각각 ACF 값과 13비트 Barker코드와의 CCF를 구한 뒤 (5), (6), 그리고 (7)을 만족하는 코드를 구하였다. 그리고 이 코드들을 13비트 의사(Pseudo) Barker코드라 정의한다.

$$\sum_{i=1}^N c_s(i)c_s(k+i-N) = N \quad (k = N) \quad (5)$$

$$\left| \sum_{i=1}^N c_s(i)c_s(k+i-N) \right| \leq 3 \quad (k \neq N) \quad (6)$$

$$\left| \sum_{i=1}^N c_b(i)c_s(k+i-N) \right| \leq 4 \quad (7)$$

여기서 $c_b(i)$ 는 13비트 Barker코드의 i 번째 비트를 뜻하고, $c_s(i)$ 는 검색하는 13비트 코드의 i 번째 비트, 그리고 N 은

표 1. 13비트 의사 Barker코드들.

Table 1. 13bit pseudo Barker codes.

코드	ACF Sidelobe 최대값	CCF 최대값
1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1	3	4
1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1	3	4
1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1	3	4

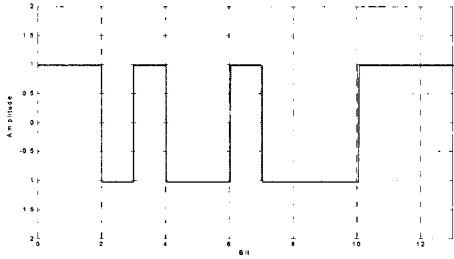


그림 7. 13비트 의사 Barker코드.

Fig. 7. 13bit pseudo Barker code.

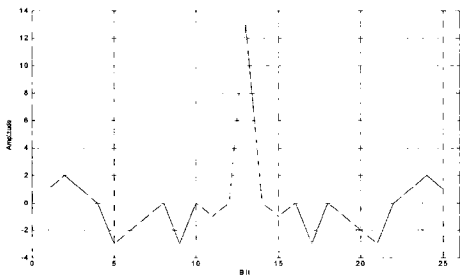


그림 8. 13비트 의사 Barker코드의 ACF.

Fig. 8. ACF of 13bit pseudo Barker code.

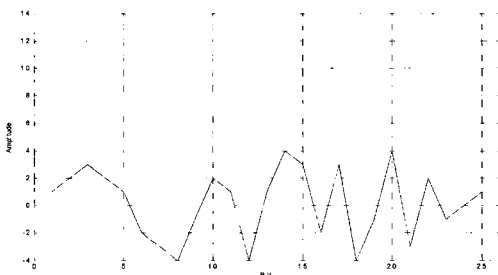


그림 9. 13비트 Barker코드와 13비트 의사 Barker코드 간의 CCF.

Fig. 9. CCF of 13bit Barker code and 13bit pseudo Barker code.

코드의 길이이다.

표 1은 컴퓨터 검색으로 구한 13비트 의사 Barker 코드들을 표시한 것이다. 우리는 위의 13비트 의사 Barker코드들 중에 하나를 선택한다. 본 논문에서 사용된 의사 Barker코드(1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1)의 형태는 그림 7과 같고, ACF 값은 그림 8, 그리고 13비트 Barker코드와의 CCF는 그림 9와 같다.

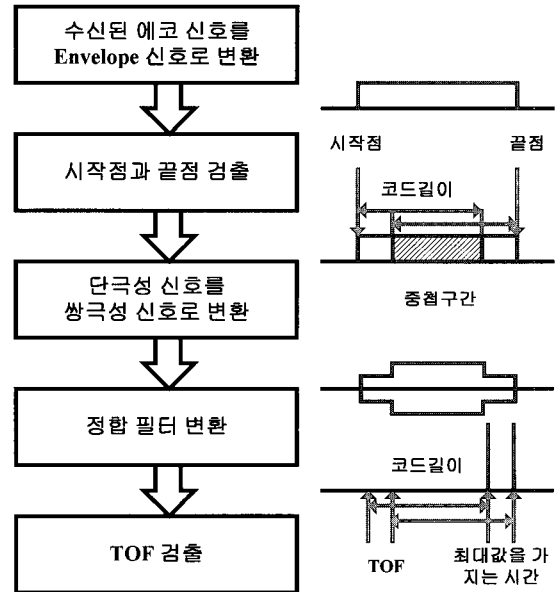


그림 10. 신호처리 과정.

Fig. 10. Diagram of signal processing.

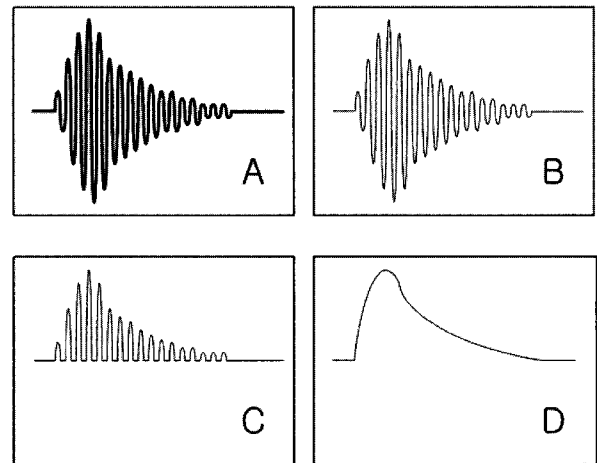


그림 11. Envelope 신호처리 과정.

Fig. 11. Diagram of envelope signal processing.

IV. 초음파 신호처리 과정

초음파센서에 수신된 신호는 그림 10과 같은 단계를 거쳐 각 센서간의 비행거리를 계산하게 되는데, 본 장에서는 초음파 신호처리 과정에 대해 기술한다.

1. Envelope 신호 변환

Envelope 신호는 TOF와 함께 물체 인식에 많이 이용되는 정보이다[13]. 그림 11(A)과 같은 잡음이 섞인 초음파의 수신기의 출력 신호가 40dB 전치 증폭기(Pre-amplifier)와 공칭 주파수 대역 통과 필터(Band pass filter)를 거쳐 그림 11(B)과 같은 신호로 변환되고, 다이오드를 통해 음부분을 제거하여 그림 11(C)신호를 만들어지며, 마지막으로 저역 통과 필터(Low pass filter)를 거쳐 그림 11(D)의 초음파 수신신호의 envelope 신호로 변환된다.

2. 쌍극성 NRZ PCM 신호 변환

수신되는 envelope 신호는 단극성 NRZ PCM 형태를 가지는데, 정합필터를 적용시키기 위해서는 쌍극성의 신호로 변환시켜야 한다.

0과 L_h 의 상태를 가지는 단극성 신호 하나만 존재한다고 가정한다면 (8)을 통해 $-L_h, L_h$ 의 두 상태를 가지는 쌍극성 신호로 변환시킬 수 있다.

$$r_b(k) = (r_u(k) - L) \times 2 \tag{8}$$

여기서 $r_b(k)$ 는 쌍극성 신호이고, $r_u(k)$ 는 단극성 신호이다.

하지만 실제 신호에서는 신호가 들어오지 않는 상태도 0, '1' 비트부분에서도 0이라는 신호가 수신된다는 문제가 있고, 또 두개의 단극성 신호가 수신될 경우 겹친 부분과 그렇지 않은 부분에서 L 값을 서로 다르게 해 줄 필요가 있다. 그래서 본 논문에서는 신호의 시작점과 끝점을 찾아서 그 길이를 보고 신호의 개수를 파악한 후 그 구간에 따라 값을 다르게 적용한다.

$$L = 0 \quad (\text{신호가 없을 때}) \tag{9}$$

$$L = 0.5L_h \quad (\text{1개 신호 수신}) \tag{10}$$

$$L = L_h \quad (\text{2개 신호 수신}) \tag{11}$$

3. 정합필터 변환

2000개의 디지털 데이터로 변환된 신호를 260개의 부호 신호로 정합필터를 적용시키기 위해서 260개 정도의 곱셈과 260개 정도의 덧셈이 필요하다. 또한 본 논문에서 사용하는 초음파센서 동특성상 코드의 갑작스러운 비트 변화를 제대로 따라가지 못하므로 우리는 한 비트를 200us동안 유지하는 방법으로 이와 같은 문제를 해결했다. 마이크로 컨트롤러 유닛에서 10us에 한번씩 ADC를 수행하기 때문에 ADC된 결과는 한 비트동안 즉 20번 같은 신호가 유지된다. 그래서 k 번째 정합필터 값과 $k-1$ 번째 정합필터 값이 비슷한 값으로 나타난다. k 번째 정합필터 값과 $k-1$ 번째 정합필터 값의 차는 14개의 곱셈과 14개의 덧셈만으로 구할 수 있으므로 일반적인 정합필터 계산 수보다 훨씬 작은 수로 정합필터 값을 구할 수 있다. 일반적인 식으로 나타내면 (12)와 같다.

$$s(k) = s(k-1) - \sum_{i=1}^{13} (c(i-1) - c(i))r(k-i \times 20) \tag{12}$$

여기서 $s(k)$ 는 k 번째의 정합필터 계산값이고, $c(i)$ 는 정합필터에 적용시키는 코드의 i 번째의 비트값, 이때 $c(0)$ 와 $c(14)$ 는 0의 값을 가진다. 그리고 $r(i)$ 는 수신된 신호값 중 i 번째의 값을 나타낸다.

V. 동시구동 초음파 시스템 하드웨어 구성

하드웨어 시스템은 크게 코드화 신호 생성 유닛(Coded signal generating unit), 초음파센서 유닛(Ultrasonic sensor unit) 2

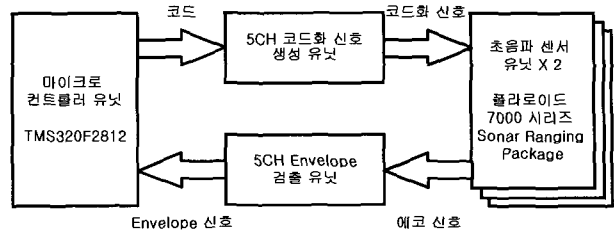


그림 12. 하드웨어 시스템 블록도.
Fig. 12. Block diagram of hardware system.

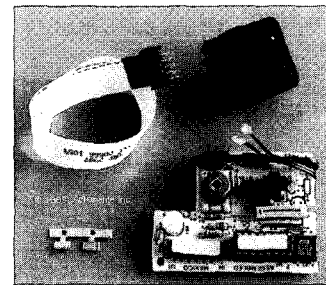


그림 13. 폴라로이드 7000 시리즈 초음파 센서.
Fig. 13. Polaroid 7000 series ultrasonic sensor.

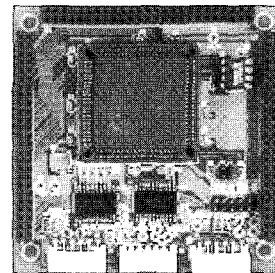


그림 14. 코드화 신호 생성 유닛.
Fig. 14. Coded signal generating unit.

개, Envelope 검출 유닛(Envelope detecting unit), 그리고 마이크로 컨트롤러 유닛(Microcontroller unit)으로 나뉘어 진다.

초음파센서 유닛은 폴라로이드 7000 시리즈 초음파센서와 6500 거리측정 모듈로 구성하였다[14].

폴라로이드사 7000 시리즈의 경우 한번 초음파를 송신할 때 50kHz의 펄스신호를 16회 반복해서 보내 준다. 코드화된 신호를 송신하기 위해서는 새로운 보드를 만들어 초음파센서를 구동할 필요가 있다. Xilinx사의 XCS10 FPGA칩을 이용하여 코드화된 신호를 초음파센서 모듈에 보내는 보드를 제작하였다(그림 14 참조).

초음파센서에 수신된 신호는 그림 15의 Envelope 검출 유닛을 통하여 5단계의 신호처리 단계를 거쳐 envelope 신호로 변환된다. 1단계는 초음파센서의 수신신호를 증폭시키는 증폭하는 단계, 2단계는 신호의 음의 부분을 정류하는 단계, 3단계는 정류된 신호의 envelope을 검출하는 단계, 4단계는 검출된 envelope 신호를 증폭하고 저역 통과 필터링 단계, 그리고 마지막 5단계는 이렇게 구해진 신호를 한번 더 증폭하는 단계로 구성되어 있다.

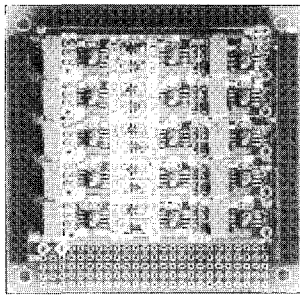


그림 15. Envelope 검출 유닛.
Fig. 15. Envelope detecting unit.

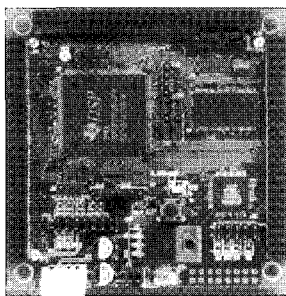


그림 16. 마이크로 컨트롤러 유닛.
Fig. 16. Micro-controller unit.

마이크로 컨트롤러 유닛(그림 16참조)은 envelope 검출 유닛에서 나온 envelope 신호를 A/D 변환하고, 이 envelope 신호를 처리하여 TOF를 구하는 연산을 담당한다. 프로세서는 텍사스 인스트루먼트사의 디지털 시그널 프로세서 TMS320F2812가 쓰이는데, TMS320F2812는 150Mhz 클럭 주파수로 동작하고, 3.3V에 작동되는 CPU이다. 메모리는 128K 플래쉬 메모리를 가지고 있으며, 최대 200ns A/D 변환 속도를 가진다. Envelope 검출 유닛에서 변환된 envelope 신호는 마이크로컨트롤러 유닛의 DSP에서 10us 간격으로 A/D된 후 64K SRAM (삼성 K6R1016)에 저장된다. 이렇게 메모리에 저장된 신호를 처리하여 센서와 장애물간의 거리를 계산한다.

VI. 물체 인식 실험 및 결과

센서 1에는 의사 Barker코드를, 센서 2에는 Barker코드를 송신한 후 물체의 측정을 하는 실험을 하였다. 그림 17과 같이 두 센서를 8cm 간격으로 배치하고, 센서에서 70cm와 80cm 거리에 장애물을 배치했는데, 센서 1에 중첩된 신호가 수신되도록 70cm 위치의 장애물을 비스듬하게 배치하였다. 이러한 실험 환경에서 두 센서를 동시에 구동하여 각 센서간 비행거리를 측정하였다. 두 개의 센서를 사용하는 경우 수신 신호의 유무에 따라 분류를 하면 16가지(각 센서에서 ‘아무 신호도 수신되지 않은 경우’, ‘자신의 신호만 수신된 경우’, ‘다른 쪽 센서의 신호만 수신된 경우’, ‘두 신호가 모두 수신된 경우’를 고려하면 4 x 4 가지)의 경우가 있을 수 있다. 이 중 본 논문에서 설정한 그림 17의 실험 환경은 센서 1에는 두 수신 신호가 분리되고, 센서 2에는 하나의 신호만이 분리

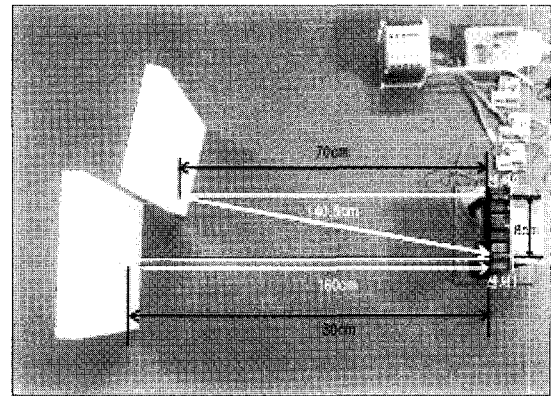


그림 17. 실험 환경.
Fig. 17. Experimental environment.

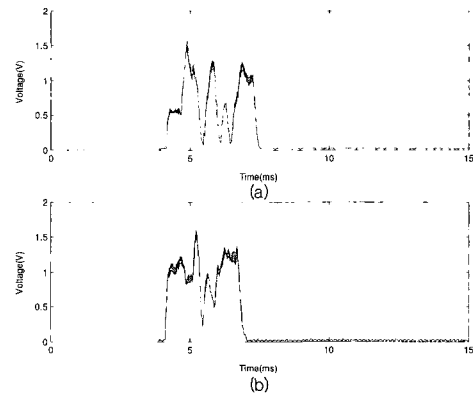


그림 18. (a) 센서1의 envelope 신호 (b) 센서2의 envelope 신호.
Fig. 18. (a) Envelope signal of sensor1. (b) Envelope signal of sensor2.

되는 경우로 이들 16가지 경우를 대표할 수 있는 실험 환경이다.

1. 신호처리 단계별 신호

초음파센서에서 수신된 에코신호는 envelope 검출 유닛을 거쳐 envelope 신호로 변환되고, 마이크로 컨트롤러 유닛 ADC를 거쳐 메모리에 저장된다. 그림 18은 메모리에 저장된 각 센서의 envelope 값을 나타낸 것이다.

그림 18에서 보면 센서 1에는 두 센서에서 송신한 신호가 서로 겹쳐진 신호가 수신되는데, 기존의 에코신호를 이용한 TOF 거리계산을 하면 센서 1에서 70cm 거리에 있는 물체만을 측정하게 하고, 80cm 거리의 물체는 측정하지 못한다.

단극성 형태의 envelope 신호를 쌍극성 변환 알고리즘에 의해 그림 19와 같은 쌍극성 신호로 변환된다.

센서 1의 수신 신호로 두개의 코드의 정합필터 취한 결과는 그림 20과 같고, 의사 Barker코드로 정합필터 변환값에서 최대값이 7.33ms에서 발생하고 Barker코드로 정합필터 변환값에서는 최대값이 6.81ms에서 나타난다는 것을 알 수 있다.

센서 2의 쌍극성 신호도 각각 정합필터를 거치면 각각의 센서에서 센서 2까지의 비행 거리를 측정할 수 있다.

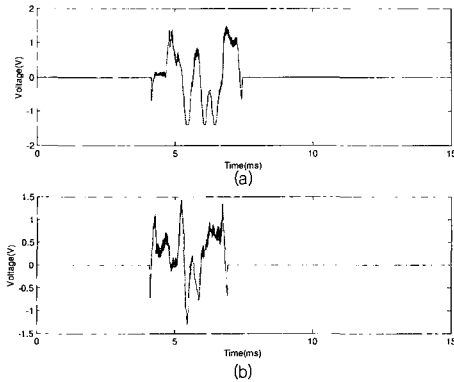


그림 19. (a) 센서1 쌍극성 신호 변환 신호 (b) 센서2 쌍극성 신호 변환 신호.

Fig. 19. (a) Bi-polar signal of sensor1. (b) Bi-polar signal of sensor2.

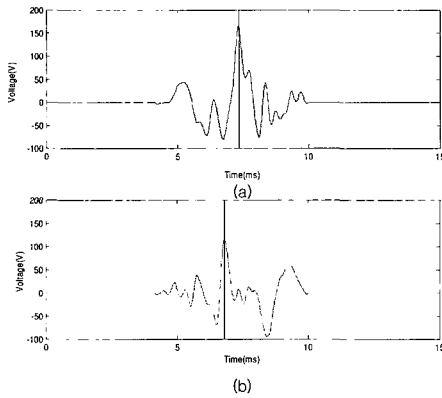


그림 20. (a) 센서1 신호를 의사 Barker코드로 정합필터 변환값 (b) 센서1 신호를 Barker코드로 정합필터 변환값.

Fig. 20. (a) MF result of sensor1 signal and pseudo Barker code. (b) MF result of sensor1 signal and Barker code.

센서 2의 수신 신호로 두개의 코드의 정합필터 취한 결과는 그림 21과 같고, 의사 Barker코드로 정합필터한 값에서 최대값이 6.75ms에서 발생하고 Barker코드로 정합필터한 값에서는 최대 Peak치가 두 번째 Peak치와 거의 차이가 나지 않으므로 Peak 값이 없는 것으로 간주한다. 만일 각각의 센서를 독립적으로 구동한다면 센서 2에서도 70cm 거리의 물체를 반사되어 온 신호가 수신되는 것으로 나타난다. 그러나, 그 음압의 크기가 작고 동시구동할 경우 코드간의 CCF의 sidelobe 크기와 구별할 수 없을 정도이기 때문에 인식되지 않는 것으로 간주된다.

표 2는 그림 20과 21에서 신호의 최대값이 나타나는 시간을 표로 나타낸 것이다. 이 시간을 이용해서 각 센서간의 비행거리를 계산할 수 있다.

2. 비행거리 계산

두 센서간의 비행거리는 송신센서가 송신한 신호가 수신 센서에 수신될 때까지의 시간과 음파의 속도와 곱으로 나

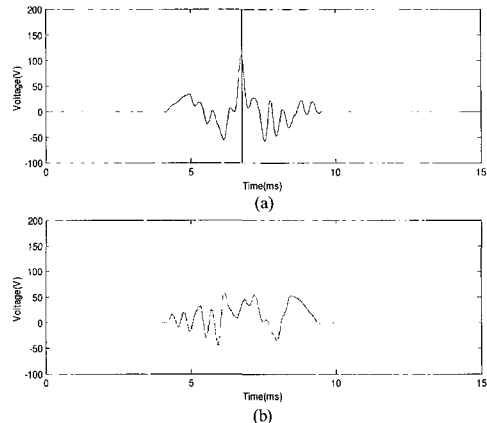


그림 21. (a) 센서2 신호를 의사 Barker코드로 정합필터 변환값 (b) 센서2 신호를 Barker코드로 정합필터 변환값.

Fig. 21. (a) MF result of sensor2 signal and pseudo Barker code. (b) MF result of sensor2 signal and Barker code.

표 2. 정합필터 최대치 시간.

Table 2. The time of MF peak.

	센서1 코드	센서2 코드
센서1 신호	7.33ms	6.81ms
센서2 신호	6.75ms	

표 3. 실험 결과 비교.

Table 3. Comparison of experiment result.

	계산 거리 (cm)	실제 거리 (cm)	오차 (cm)
센서1 신호가 센서1에 수신될 때까지 비행거리	162.48	160	2.48
센서2 신호가 센서1에 수신될 때까지 비행거리	144.61	140.5	4.11
센서1 신호가 센서2에 수신될 때까지 비행거리	142.55	140.5	2.05

타낼 수 있다. 정합필터의 최대값이 나타나는 시간은 신호가 수신되는 시간이 아니라, 수신된 신호가 정합필터의 코드와 완전히 겹쳐졌을 때의 시간이다. 따라서 센서간의 신호 비행거리 l 을 구하는 식은 (13)과 같다.

$$l = (t_p - t_c) \times c \tag{13}$$

여기서 t_p 는 정합필터 결과 최대치의 시간이고, t_c 는 코드가 지속되는 시간(2.6ms)이고, c 는 초음파의 속도(20°C에서 343.5m/s)이다. 초음파의 각 센서간 비행 거리는 (14), (15), 그리고 (16)과 같이 계산된다. 여기서 l_{ab} 란 a 센서에서 b 센서까지의 초음파의 이동거리를 뜻한다.

$$l_{11} = (7.33ms - 2.6ms) * 343.5m/s = 162.48cm \tag{14}$$

$$l_{21} = (6.81\text{ms}-2.6\text{ms}) * 343.5\text{m/s} = 144.61\text{cm} \quad (15)$$

$$l_{12} = (6.75\text{ms}-2.6\text{ms}) * 343.5\text{m/s} = 142.55\text{cm} \quad (16)$$

표 3은 실험환경에서의 실제 거리와 두 개의 초음파센서 동시구동 시스템을 이용하여 계산한 비행거리를 비교해 놓은 것이다.

VII. 결론

본 논문에서는 다중 초음파센서를 동시에 구동하기 위해 각 센서에 서로 다른 코드를 송신하는 시스템을 제안하였다. 이 시스템을 구현하기 위해 먼저 각 센서에서 송신할 코드와 음파를 코드화하기 위한 변조 방법을 선택하였고, 코드화 된 신호를 송신하고 수신할 수 있는 하드웨어를 설계 및 제작하였으며, 수신된 신호로부터 음파를 송신한 센서에서 수신한 센서간의 비행거리를 검출하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 그리고, 각 센서에서 송신된 신호가 물체에 반사되어 센서에 수신될 때 신호가 중첩이 되더라도 각각의 센서에서 나온 신호를 검출할 수 있다는 것을 실제 실험을 통해 검증하였다.

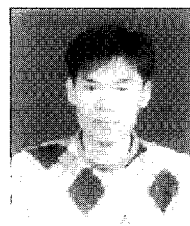
참고문헌

- [1] J. Borenstein and Y. Koren, "Obstacle avoidance with ultrasonic sensors," *IEEE Journal of On Robotics and Automation*, vol. 4, pp. 213-218, Apr. 1988.
- [2] J. H. Ko, W. T. Kim, and M. J. Chung, "A method of acoustic landmark extraction for mobile robot navigation," *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, vol. 12, pp. 478-485, June 1996.
- [3] E. Dekneuveel and H. Medromi, "An ultrasonic sound intelligent sensor for a mobile robot perception system," *Proc. 1999 International Conf. on ETFA '99*, vol. 1, pp. 513-520, 1999.
- [4] H. Peremans, K. Audenaert, and J. Van Campenhout, "A high-resolution sensor based on tri-aural perception," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 9, pp. 36-48, Feb. 1993.
- [5] 이상룡, 박상혁, 이종규, "초음파 배열센서 시스템을 이용한 국부지도작성 알고리즘의 개발," 대한기계학회논문집, 제18권, 제11호, pp. 2902-2912, 1994.
- [6] K. W. Jorg and M. Berg, "Mobile robot sonar sensing with pseudo-random codes," *Proc. 1998 IEEE International Conf. On Robotics and Automation*, vol. 4, pp. 2807-2812, May 1998.
- [7] V. Diaz, J. Urena, M. Mazo, J. J. Garcia, E. Bueno, and A. Hernandez, "Using golay complementary sequences for multi-mode ultrasonic operation," *Proc. of the 1999 IEEE International Conf. On Emerging Technologies and Factory Automation*, pp. 599-604, 1999.
- [8] A. Hernandez, J. Urena, J. J. Garcia, J. P. Derutin, J. Serot, and M. Mazo, "Ultrasonic sensor performance improvement using DSP-FPGA based architectures," *IEEE 2002 28th Annual Conf. of the Industrial Electronics Society*, vol. 4, pp. 2694-2699, Nov. 2002.
- [9] I. Sillitoe, A. Visioli, F. Zanichelli, and S. Caselli, "Experiments in the piece-wise linear approximation of ultrasonic echos for object recognition in manipulation tasks," *Proc. of the 1996 IEEE International Conf. on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 353-359, Apr. 1996.
- [10] M. Parrila, J. J. Anaya, and C. Fritsch, "Digital signal processing techniques for high accuracy ultrasonic range measurement," *IEEE Trans. on Instrument and Measurement*, vol. 40, pp. 759-763, Aug. 1991.
- [11] J. Urena, M. Mazo, J. J. Garcia, A. Hernandez, and E. Bueno, "Correlation detector based on a FPGA for ultrasonic sensors," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 23, Issue 1, pp. 25-33, 1999.
- [12] K. Audenaert, H. Peremans, Y. Kawahara, and J. Van Campenhout, "Accurate ranging of multiple objects using ultrasonic sensors," *Proc. of the 1992 IEEE International Conf. On Robotics and Automation*, pp. 1733-1738, 1992.
- [13] J. M. Martn Abreu, R. Ceres, L. Caldern, M. A. Jimnez, and P. Gonzalez-de-Santos, "Measuring the 3D-position of a walking vehicle using ultrasonic and electromagnetic waves," *Sensors and Actuators, A* 75, pp.131-138, 1999.
- [14] Ultrasonic Ranging System Handbook, Polaroid Corporation.
- [15] www.newwaveinstruments.com/resources/sections/advanced_topics.htm
- [16] www.ece.osu.edu/~daiw/Mobile_communication_handbook/08.pdf



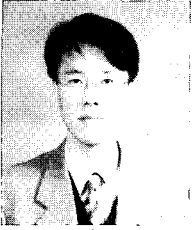
김 춘 승

1976년 2월 4일생. 2002년 경북대학교 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2004년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업. 2004년 2월~현재 한국델파이 주식회사 연구원. 관심분야는 로봇제어, 다중센서 신호처리.



최 병 준

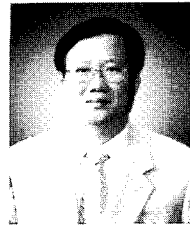
1970년 1월 7일생. 1997년 경일대 제어계측 공학과 졸업. 1999년 경북대 전자공학과 석사. 1999년~현재 동대학원 박사과정. 관심분야는 이동로봇, 로봇틱스, 지능제어.



이연정

1961년 9월 10일생. 1984년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 동대학원 박사(1994년). 1995년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수. 관심분야

는 로보틱스, 지능제어, 임베디드 시스템 등.



이상룡

1957년 9월 25일생. 1980년 서울대학교 기계공학과 졸업, 한국과학기술원 대학원 기계공학과 석사(1982년). 미국 Georgia Institute of Technology 기계공학 박사(1989년). 1982~현재 경북대 기계

공학부 교수, 관심분야는 이동로봇의 위치추정, 초미세 계측/구동 기술, 크레인의 자세 및 궤적 제어 등.