

두 개의 정현 구동 신호를 이용한 고전력 거리 및 속도 측정 쏜나 시스템 개발

장순석, 안흥구, 이재형, 최현호
 조선대학교 공과대학 전기·제어계측공학부

High Power Distance & Velocity Measuring SONAR System Development using Two Gated Sinusoidal Signals

Soon Suck Jarng, Heung Gu Ahn, Je Hyeong Lee, Heun Ho Choi
 Dept. of Electrical Control & Instrumentation, Chosun University

요약

본 논문은 움직이는 물체의 거리와 속도측정을 위한 고전력 쏜나(SONAR)시스템 개발에 목적을 두었다. 고전력 쏜나 시스템은 이동하는 물체에 주파수가 190kHz이고, 1.6ms 만큼의 시간차를 가지는 두 개의 정현 구동 신호를 보내, 되돌아오는 초음파의 시간차를 이용했다. 초음파 센서의 송신부에는 고전력 앰프를 사용하여 ±60V의 정현 구동 신호가 송신 초음파 센서에 전달 되도록 하였다. 초음파 센서의 신호 발진 및 수신된 신호의 저장을 위하여 1M RAM을 활용하였다. 150-250kHz 대역의 아날로그 BP필터를 거쳐 RAM에 저장된 수신신호는 송신신호와 함께 Cross-correlation을 행하여 시간지연값을 계산하였고, 이로부터 거리 및 속도를 측정했다. 이 실험에서 설계 제작된 쏜나 시스템으로부터 측정된 값은 오실로스코프와 광 센서를 이용하여 직접 측정된 값들과 비교했다. 그 결과 2%의 오차로 근접함을 확인하였다.

1.서론

현대 산업사회에 있어서 초음파는 자동차의 후미감지, SONAR(Sound Navigation and Ranging), 어군탐지, 진축물의 결함탐색, 초음파모터, 의료진단등 다방면에 사용되어지고 있다. 그 중에서도 수중에서의 초음파의 활용은 초음파가 다른 파에 비해 감쇠가 덜함으로 인해 가장 많이 사용되어지고 있으며, 수중 음향 센서 활용을 위해서 장치개발이 절실히 요구되어지고 있다. 본 논문을 통해서 개발된 고전력 쏜나 시스템은 중심주파수가 200±10kHz인 초음파 센서를 사용[1]하였고, 5MHz의 샘플링을 행하여 공기중에서 이동하는 물체의 속도를 측정하였다. 또한, 이 공기중에서 사용하는 초음파센서 대신 수중음향 센서를 사용하면 수중에서의 속도 및 거리 측정도 가능하게 했다. 공기 및 수중에서의 초음파가 전달되는 음압을 높이기 위해서 APEX사의 고전력 앰프

(PA85)를 사용하였으며[2] PC와의 Interface를 위해서 Parallel Port[3]를 사용하였고, 초음파 센서를 통해 물체로부터 반사되어 되돌아온 초음파를 수집과 분석이 가능하게 하였다. 이 반사되는 초음파에는 잡음(noise)이 섞이는데 잡음제거를 위해서 선치리로 150-250kHz 대역의 아날로그 필터링[4],[5]을 하였다. 본 논문에서는 속도 및 거리 측정을 위해 흔히 사용하는 도플러 방식을 사용하지않고 두 개의 정현 구동신호를 사용하였다. 두 개의 정현 구동신호는 초음파 센서를 구동하여 190kHz의 초음파를 발사하고 동시에 반사되어 되돌아오는 신호 사이의 시간차를 구함으로써 이동하는 물체의 속도를 측정했다.

2.속도측정 원리

초음파를 음향 임피던스가 다른 물체에 송신하면 초음파는 약간의 흡수, 반사, 투과를 하게 된다. 이는 물체와 매질인 공기사이의 임피던스가 차이가 나 생기는 현상인데 임피던스 차가 클수록 반사되는 양이 커진다. 이렇게 거울처럼 반사되는 현상을 specular reflection[6]이라 부른다. 그림 1은 그림 2의 정현 구동 신호를 확대한 것이다.

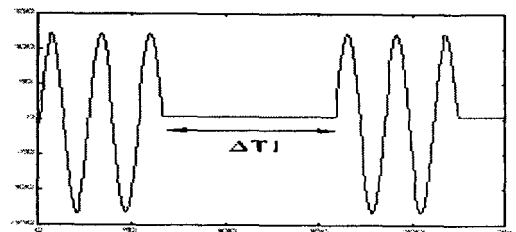


그림 1 정현구동신호

ΔT1 : 두개의 구동 초음파 신호 사이의 시간차
 ΔT2 : 두개의 수신 초음파 신호 사이의 시간차
 $\Delta T1 = t2 - t1$

(1)

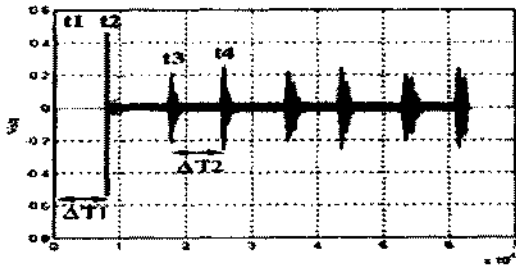


그림 2 송/수신 초음파 신호

$$\Delta T2 = t4 - t3 \quad (2)$$

가 된다. 첫번째 수신한 초음파 신호까지의 거리를 D1이라 하면

$$D1 = \frac{(\beta - \beta_1)}{2} C \quad (3)$$

여기서, $C = 331.5 + 0.607t$ (m/s), t 는 온도이다. 두 번째 수신한 신호까지의 거리를 D2라 하면

$$D2 = \frac{(\beta - \beta_2)}{2} C \quad (4)$$

가 된다. 이동하는 물체의 속도를 V , 거리 D 만큼 걸린 시간을 T 라 하면 $V = \frac{2D}{T}$ [4]이므로

$$V = \frac{2(D1 - D2)}{(\beta_1 - \beta_2 + \beta - \beta_1)} \quad (5)$$

가 된다. (5)식에 (1)과 (2)식을 대입하면

$$V = \frac{\Delta T2 - \Delta T1}{\Delta T1 + \Delta T2} C \quad (6)$$

이 된다.

3. 초나 시스템

PC의 Parallel Port를 통해서 송신 센서(transmitter)를 구동하기 위한 데이터를 RAM에 저장한다. 저장된 데이터는 사용자의 명령에 따라 D/A 컨버터를 통해 190kHz의 $\pm 5V$ 정현 신호로 변환되는데, DC-DC 컨버터

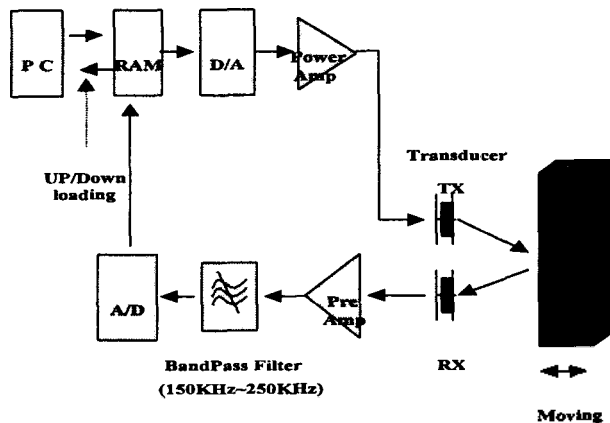


그림 3 고전력 초나시스템 개략도

(Power Plaza사 PS6-5-5)를 사용하여 음(-)전압을 D/A 컨버터에 공급한다. 송신 센서(receiver)로 보내지는 정현 구동 신호는 외부 카운터를 사용하여 PC와 상관없이 5MHz의 일정한 샘플링 주파수를 갖게 했다. 카운터에 의해 발생되어지는 구동신호는 1Mbit RAM의 8192bit를 차지하여 저장되는데, Dip switch를 사용하여 사용자에 따라 저장구간을 바꿀 수 있게 했다. 램에 저장되는 데이터는 디지털 비교기를 사용하여 정현 구동신호가 보내짐과 동시에 자동으로 송신모드에서 수신모드로 바뀌어져 수신부로부터 수신된 신호를 저장하게 된다. 공기 중에서 이동하는 물체에 초음파를 발사하면 산란(scattering), 감쇠(attenuation), 분산(beam spread), 흡수(absorption)등에 의해 수신센서에 전달되는 초음파는 미약하게 된다. 그러므로, 송신센서에 보내어지는 정현 구동 신호를 크게 하여 수신센서에 강한 음압이 전달되도록 할 필요가 있다. 본 초나 시스템에서는 고 전력 앰프를 사용하여 송신센서의 정현 구동 신호를 $\pm 60V$ 가 되게 했다. 그러나, 수신센서에 전달되어지는 초음파신호는 분석하는데 필요로 하는 전압보다 상당히 낮다. 따라서, 이 수신된 초음파신호를 OP 앰프[7]를 통해 약 30dB정도 증폭되게 했다. 증폭된 신호는 150-250kHz의 주파수 대역을 가지는 아날로그 BP 필터를 통과하고 다시 OP 앰프를 통해 30dB정도 더 증폭된 후 A/D 컨버터(AD1672, Analog devices)에 보내진다. 이 시스템에서 사용되어진 A/D 컨버터는 단일채널의 12bit 3Mbps를 사용했다. A/D 컨버터를 거친 신호는 디지털 신호로 변하는데 외부 카운터에 의해 자동으로 램에 저장된다. 램 저장시 data버스는 8bit이므로 A/D컨버터의 12bit중 하위 4bit는 사용하지 않고, 상위 8bit만 사용하였다. 디지털 신호는 램에 저장시에 Timer(NE555)에 의해서 수신 모드 동안만 램에 수신신호가 저장되어지고, 램에 저장

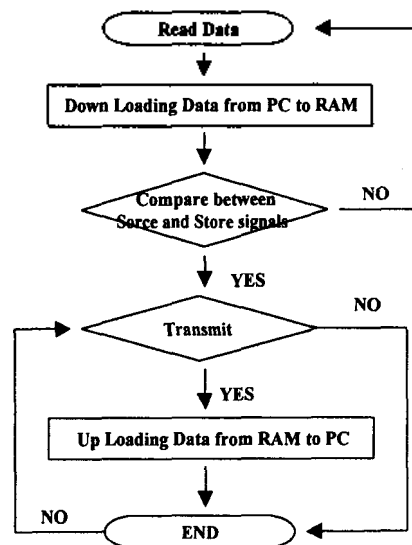


그림 4 Up/Down loading 순서도

된 신호는 다시 PC의 Parallel Port를 사용하여 PC로 전송되게 된다. 그림 4는 송/수신 초음파신호의 Up/Down loading 순서도이다.

4. 실험

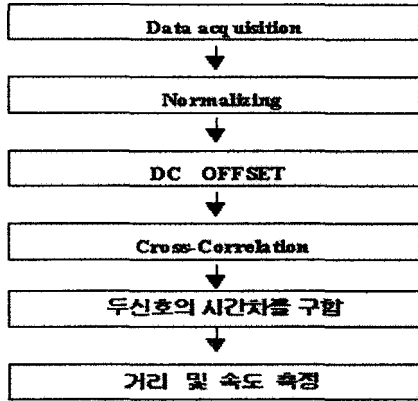


그림 5 실험 순서도

4-1. 정현 구동 신호의 송수신

본 소나 시스템의 송/수신부는 Murata사(MA200A1)의 송/수신 초음파센서를 그림 6과 같이 3cm 간격으로 배치하였는데 이 센서는 지향각이 7°이고 최대 입력 전

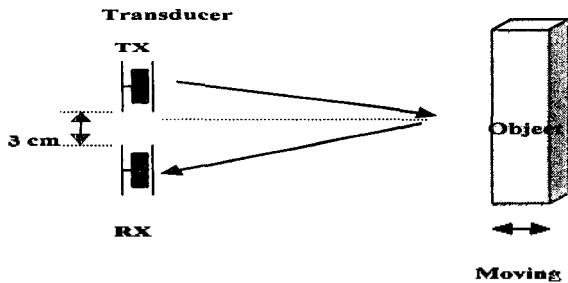


그림 6 초음파센서의 배치

압은 120V(Vp-p), 중심주파수 200±10KHz, 2mm의 분해도를 갖는다. 초음파 센서를 구동하기 위해서 정현 구동 신호를 그림 1과 같이 구성한다. 첫 번째 보내지는 구동 신호와 두번째 보내지는 구동 신호 사이는 약 16.384ms의 시간차를 두었다.

4-2. Filtering

물체에 반사되어 되돌아오는 신호는 상당한 잡음이 섞여있게 된다. 이 잡음을 제거하기 위해서 그림 7과 같이 아날로그 필터로 150-250kHz 대역의 BP 필터를 설계 제작하였다.

4-3. 상호상관함수(Cross-correlation)

상관함수[8]에는 상호상관함수와 자기상관함수의 두가지

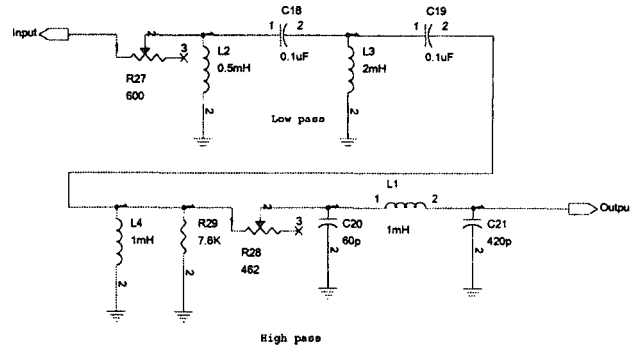


그림 7 BP filter(150-250kHz)

형태가 있다. 상호상관함수는 두 신호의 유사성과 시간차를 나타내며 잡음이 포함되어 있는 신호의 검출 및 복원 등에 사용되고, 자기상관함수는 주기검출에 사용된다. 상호상관함수는 다음과 같은 수식으로 나타낸다.

$$r_{12} = \frac{1}{N-|k|} \sum_{n=0}^{N-|k|-1} x(n)y(n+k), \text{ unbiased} \quad (7)$$

그림 8은 속도가 0.609m/s로 움직이는 물체에 초음파를 발사했을 때, 초음파 센서로부터 0.75204m의 거리상에서 움직이는 물체에 반사된 초음파 신호들의 상호상관관계를 나타낸 것이다. 초음파 신호에 상호상관관계함수를 행하기 전에 그림 5와 같은 순서로 먼저 Normalizing를 하고, 다음 DC OFFSET를 행하여 DC 성분을 제거한다. 그림 8의 (a)는 두 송신 초음파 신호 사이의 상호상관관계를 나타내고, (b)는 두 수신 초음파 신호 사이의 상관관계, (c)는 송신 초음파 신호와 수신 초음파 신호 사이의 상관관계를 나타낸다. 속도를 구하기 위해서 그림 8에서 보는바와 같이 상호상관관계 함수로부터 구한 (a)그림의 시간지연에서 (b)그림의 시간지연을 감산함으로써 이동물체의 시간차를 구한다. 이렇게 구한 시간차

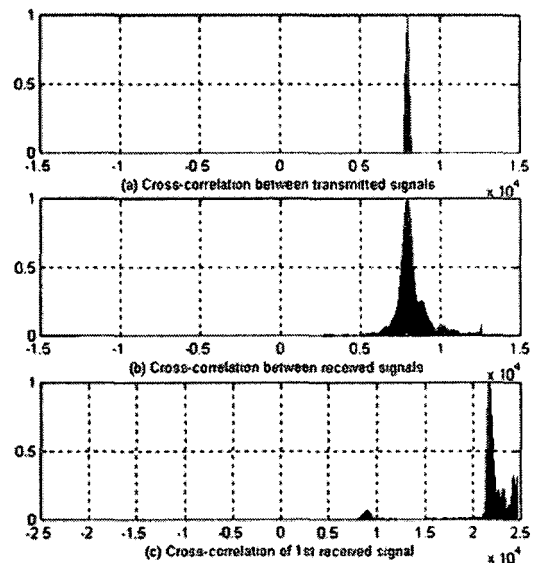


그림 8 송/수신초음파신호의 Cross-correlation

는 실온에서 공기중 음파의 전파속도를 고려하여 식 (6)에 의하여 속도를 구한다.

4-4. 오실로스코프와 광센서를 이용한 속도측정

오실로스코프(HP54520A)와 광센서(SI3311,ST3311)를 이용하여 속도측정을 위해 수/발광센서를 그림 9와같이 구성하였다. 광센서와 광센서 사이의 거리를 10cm 떨어지게 설치하여 이동물체가 처음 광센서를 지나고 다음 광센서를 지날 때까지의 지연시간을 오실로스코프로 직접 측정하여 속도를 구했다.

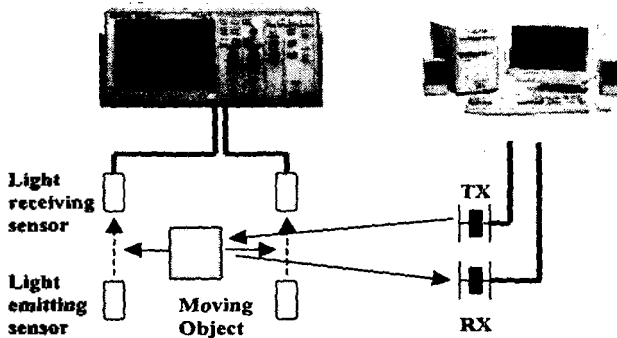


Fig 8 광센서를 이용한 속도측정

5. 실험결과 및 고찰

표 1은 모형 기차를 각기 다른 속도로 이동하게 한 수/발광 센서를 이용하여 오실로스코프로 직접 측정된 것과 초음파센서를 사용하여 측정된 것을 비교한 것이다. 이 실험에서 이동하는 물체의 속도 측정은 상대오차가 약2%로 측정되었다. 표 1에서 초음파센서 측정거리는 초음파가 송신 초음파센서부터 방사되어 이동 물체에 반사되는 지점의 거리를 나타낸다. 이는 모형 기차를 이동하는 물체로 사용하였는데 모형 기차가 선로마다 속도차가 나기 때문에 이를 감안해 수/발광센서가 설치된 지점까지의 거리인 70-80cm 지점에서 속도가 측정되었는지를 알려준다. 초음파가 물체로부터 반사되어 초음

번호	거리(m)		속도(m/s) 섭씨 24℃	
	초음파 센서 측정	광센서 측정	초음파 센서 측정	상대 오차 (%)
1	0.717400	0.370370	0.363042	1.97
2	0.790073	0.524109	0.543687	3.73
3	0.752040	0.609756	0.609044	0.12
4	0.790973	0.750750	0.7616411	1.45
5	0.775123	0.783699	0.7616411	2.81
6	0.784040	0.925925	0.919786	0.66
7	0.738889	0.996015	1.001707	0.57

표 1 이동물체의 거리 및 속도

파센서로부터 수신되는 신호는 미약한데 이로 인해 잡음이나 왜곡이 생기기 쉽다. 이를 줄이기 위해 송/수신 초음파 센서와 회로 사이의 연결에 동축케이블을 사용하였다.

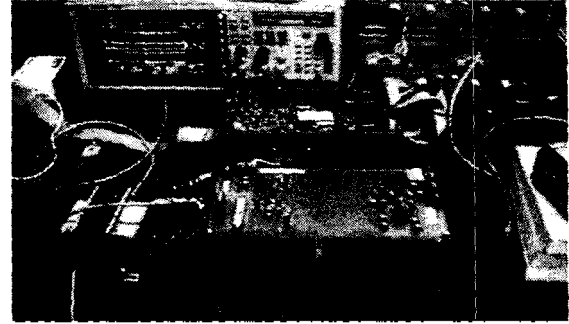


그림 10 소나 시스템

6. 결론

본 논문에서는 움직이는 물체의 거리와 속도측정을 위한 고전력 소나 시스템 개발에 목적을 두었다. 송/수신 초음파 신호들 사이에 Cross-correlation을 행하여 시간 지연값을 구했고, 속도측정을 위해 두 개의 정현 구동신호를 사용하므로써 간단한 수식에 의해 속도 및 거리를 측정했다. 초음파 센서의 송신부에는 고전력 앰플을 사용하여 ±60V의 정현 구동신호가 송신센서에 전달 되도록 하였다. 수신부에는 수신된 초음파 신호를 60dB 증폭시키고, 150-250kHz의 아날로그 BP 필터를 사용하여 잡음을 제거하였다. 향후, 고전력 소나 시스템에서 사용한 초음파센서 대신 수중 음향센서를 사용하면 수중에서의 초음파 신호의 수집 및 분석에 도움이 될 것으로 기대된다.

References

- [1] "ULTRASONIC SENSOR Application Manual", Murata Manufacturing Co.,Ltd.
- [2] "APEX Power Integrated Circuits", Apex Microtechnology Corporation, Vol. 7
- [3] Peter H. Anderson, "Use of a PC Printer Port for Control and Data Acquisition", the Technology Interface, Vol. 1, Fall96 (<http://et.nmsu.edu/~etti/>)
- [4] Harry Y-F. Lam, "ANALOG AND DIGITAL FILTERS Design and Realization", Prentice Hall, Inc., 1979
- [5] ENG TATT GHU, "Frequency Modulated Continuous Wave Sonar", Final year project(1989-1990)
- [6] Rodney F.W. Coates, "Underwater Acoustics Systems", MACMILLAN EDUCATION LTD., PP:10-15, 1990
- [7] THOMAS L. FLOYD, "ELECTRONIC DEVICES", Prentice Hall, Vol 4, PP:700-821, 1998
- [8] Emmanuel C. Ifeakor and Barrie W. Jervis, "Digital Signal Processing, A Practical Approach", ADDISON-WESLEY, PP:183-213, 1996