

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.4.143>

JIIBC 2018-4-20

아두이노와 초음파 센서를 이용한 실험용 수위 측정 장치 개발

Development of experimental water level measuring device using an Arduino and an ultrasonic sensor

유문성*

Moonsung Yoo*

요 약 수위는 하수장, 정수장, 하천, 댐, 공장의 저장탱크 등 다양한 분야에서 측정된다. 수위측정을 위한 초음파 기기가 판매중이나 산업용으로 실험에서 사용하기는 가격이 너무 비싸다. 전자 기술의 급속한 진보로 인해 다양한 종류의 측정, 모니터링 및 제어 기능이 저렴하게 구축하는 것이 가능해졌다. 저렴한 가격으로 초음파 수위 측정시스템을 만들기 위하여 본 연구가 시작되었다. 실험용으로 사용하기 위하여 아두이노, 초음파 센서 및 온도 센서로 시스템을 구성하였다. 초음파 센서는 센서에서 수위 표면까지의 시간을 측정한다. 온도 센서는 대기 온도를 측정하며 온도 변화로 인한 소리의 속도를 보정하여 초음파 거리 측정의 정확성을 높인다. 아두이노는 측정 전반을 관리하고 수위를 계산한다. 시스템의 모든 구성 요소는 장치거치대에 조립되었다. 제안된 시스템을 가지고 실험한 결과 수위가 실측치와 매우 가까웠다. 이 시스템은 또한 저렴하며 설치 및 유지하기가 쉬워 실험용으로 적절하다.

Abstract Water levels are measured in various fields such as sewage treatment plants, water treatment plants, rivers, dams, factory storages' tanks. Ultrasonic instruments for water level measurement are expensive and are used for industrial field. Rapid advances in electronics have made it possible to build a wide variety of measurement, monitoring and control functions at low cost. This study was started to make ultrasonic level measurement system at low price. The system was constructed with an Arduino, an ultrasonic sensor and a temperature sensor for use in the experiment. The ultrasonic sensor measures the time from the sensor to the liquid surface. The temperature sensor measures the atmospheric temperature and improves the accuracy of the ultrasonic distance measurement by correcting the sound speed. Arduino controls measurements and calculates the water level. All components of the system are assembled into a device holder. Experiments with this system show that the water level measured by the system is very close to the actual value. This system is also inexpensive and easy to install and maintain, making it suitable for laboratory use.

Key Words : ultrasonic sensors, water level, Arduino, temperature sensor, distance

*정희원, 상지대학교 컴퓨터공학과
접수일자 2018년 5월 30일, 수정완료 2018년 7월 30일
게재확정일자 2018년 8월 10일

Received: 30 May, 2018 / Revised: 30 July, 2018 /
Accepted: 10 August, 2018

*Corresponding Author: msyoo@sangji.ac.kr
Dept. of Computer Engineering, SangJi Univ., Korea

I. 서 론

수위는 다양한 분야에서 측정된다. 하수장, 정수장, 하천, 댐, 물탱크, 공장의 저장탱크 등 여러 곳에서 사용된다. 수위를 측정하는 방법 중 하나가 초음파 센서를 사용하는 것이다. 시중에 산업용 초음파 수위 측정기가 나와 있지만 실험용으로 사용하기에는 너무 비싸다.

전자 기술의 급속한 발전으로 인해 저렴한 가격으로 다양한 측정, 모니터링 및 제어기능을 사용할 수 있게 되었다. 프로그래머블 마이크로컨트롤러 플랫폼의 개발 결과로 오픈 소스 프로젝트인 아두이노(www.arduino.cc)가 출현하게 되었다. 아두이노는 쉴드(Shield)라고 불리는 애드온(add-on) 회로 보드를 통한 확장이 가능하며 소프트웨어를 작성하기 위한 프로그래밍 환경인 IDE를 제공한다. 아두이노는 오픈 소스 장치로서 회로 기관 및 전자 부품 사양과 프로그래밍 소프트웨어 모두를 누구나 자유롭게 사용하거나 수정할 수 있다. 저렴한 센서와 아두이노 개발 플랫폼이 여러 분야에서 사용되고 있다.^{[1][2][3]}

초음파 거리 측정 기술은 물체까지의 거리를 초음파로 측정한다. 대상물 쪽으로 초음파 펄스를 송신한 후에 에코가 되어 돌아오는 시간을 측정하면 대상물까지의 거리는 그 시간에 기초하여 계산한다.

본 논문은 초음파 측정 시스템을 학교 등에서 실험하기 위한 저렴하고 실용적인 장치를 만드는 것이다. 그러기 위하여 아두이노, 초음파 센서 및 온도 센서로 시스템을 구성하였다. 이 장치를 사용하여 여러 레벨의 수위에 대한 검증을 실측값과 비교하여 실시하였다.

실험 결과 실측치와 제한한 시스템 측정치의 회귀 직선의 기울기는 1.000에 가깝고 결정 계수도 $R^2=0.9959$ 이 나와 매우 정확하게 측정됨이 확인되었다.

II. 시스템의 구성

측정 시스템은 주로 초음파 센서, 온도 센서와 아두이노로 구성된다. 초음파 센서는 센서에서 목표까지의 즉수면까지의 시간을 측정하고 온도 센서는 공기 온도를 측정한다. 아두이노는 모든 센서 측정을 관리하고 수위를 계산한다. 장치 거치대는 아두이노 및 센서 설치 및 배치를 위한 안정된 플랫폼을 제공한다.

1. 초음파 및 온도 센서

초음파 센서로는 HC-SR04를 사용하였다. HC-SR04는 약 2-400cm 가량의 측정거리를 제공하며 3mm의 정확도를 가진다. 제품에는 송신기, 수신기, 제어회로가 포함되어 있다. 센서에는 4개의 핀이 있는데 VCC, Trig, Echo, GND이다.^{[4][5]}

HC-SR04는 두 개의 트랜스듀서로 구성되며, 하나는 고주파 음파의 펄스를 송신하고 다른 하나는 표면에서 반사되는 음파를 수신한다. 거리는 펄스를 보내고 그 반사를 받는 시간 간격을 측정하여 결정된다.

센서는 펄스를 개시하도록 프로그래밍된 아두이노와 연결된다. 그러면 내부 타이머가 시작하고 인터럽트(echo) 신호가 검출 될 때까지의 시간(마이크로 초)을 측정한다. 거리는 공기 중에서 송신되고 반사된 음파의 시간에 의해 결정된다. 일반적으로 공기 속의 소리의 속도는 일정하다고 가정하지만 공기 온도에 매우 의존하고, 습도의 영향도 약간 받는다.^{[6][7]} 실제 공기 중 소리의 속도는 식 (1)을 사용하여 보다 정확하게 계산할 수 있다.

$$v = 331.5 + 6 * T \quad (1)$$

여기서, v = 소리의 속도 (m/s) 및 T = 공기 온도(섭씨). 공기 온도는 DHT11 온도 센서를 사용한다. 아두이노에서 대표적(3.3V 동작전압)으로 사용되는 온도 습도 센서이며 온도 측정온도 50°C까지 가능하며, 측정 단위는 1°C 단위 오차는 $\pm 2^\circ\text{C}$ 이다.^[8]

2. 아두이노

아두이노(Arduino)는 오픈 소스를 기반으로 한 단일 보드 마이크로컨트롤러로 완성된 보드와 관련 개발 도구 및 환경을 말한다. 아두이노 보드 중 가장 널리 사용되는 아두이노 우노(Arduino Uno)보드를 선택하였다. 이 보드는 아트멜(Atmel)사의 8비트 AVR 마이크로컨트롤러와 다른 전자회로기관들과의 결합을 용이하게 해 주는 부속품들로 구성되어 있다. 보드에는 기본적으로 5V 리니어 레귤레이터와 16MHz 결정 진동자(크리스탈)가 내장되어 있으며, 프로그램의 업로드를 용이하게 하기 위한 부트로더가 마이크로컨트롤러에 미리 내장되어 있다.^{[1][2][3]}

아두이노는 여러 전자회로 기관들을 연결할 수 있다. 다수의 스위치나 센서로부터 값을 받아들여, LED나 모터와 같은 외부 전자 장치들을 제어함으로써 환경과 상

호작용이 가능한 물건을 만들어 낼 수 있다. 아두이노 보드는 마이크로컨트롤러 I/O핀을 다른 전자 기판과 연결하기 위하여 제공한다. 우노는 14개의 디지털 I/O핀과 6개의 아날로그 핀이 있다.

아두이노는 컴파일된 펌웨어를 USB를 통해 쉽게 업로드 할 수 있다. 또한, 아두이노는 다른 모듈에 비해 비교적 저렴하고, 윈도를 비롯해 맥 OS X, 리눅스와 같은 여러 OS를 모두 지원한다. 아두이노 보드의 회로도도 CCL에 따라 공개되어 있으므로, 누구나 직접 보드를 만들고 수정할 수 있다.

아두이노는 소프트웨어 개발을 위해 통합 개발 환경(IDE)^[9]를 제공한다. 아두이노 IDE는 편집기, 컴파일러, 디버거, 업로드 등이 합쳐진 환경이며 기타 개발에 필요한 각종 옵션 및 라이브러리 관리를 할 수 있다.

실행 시 개인용 컴퓨터와 시리얼 통신을 할 수 있는 모니터를 제공한다. 보통 USB를 통해 업로드를 하므로 아두이노 보드는 USB를 UART 통신으로 바꾸는 방법이 제공된다.

초음파 센서와 아두이노와 연결은 전원(Vcc)선은 5V 핀에, Trig선은 9번 핀에, Echo선은 9번 핀에, 접지(Gnd)선은 Gnd핀 중 하나에 연결하였다, 온도 센서의 전원(Vcc)선은 아두이노의 3.3V핀에, 신호(Sig)선은 7번 핀에, 접지선은 아두이노 회로의 Gnd 중 하나에 연결하였다. 회로도는 그림 1과 같다.

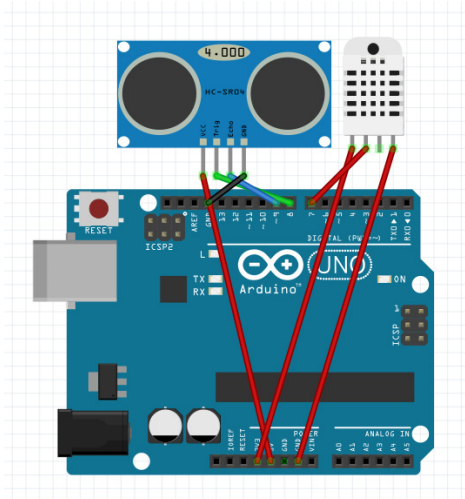


그림 1. 시스템 회로도
 Fig. 1. wiring diagram of the system

3. 장치 거치대

측정 시스템의 장치 거치대는 초음파 및 온도 센서들을 수면위에서 측정하기 위해 고안되었다, 장치거치대 하단에 물이 담긴 비커를 배치하고 상단 안쪽에 초음파 센서와 온도 센서를 부착하였으며 상단 바깥쪽에 아두이노를 배치하고 센서들과 아두이노는 와이어 케이블로 연결하였다. 초음파 센서는 수면에서 수직으로 향하게 설치하였다. 그림 2에 아두이노 보드와 센서들을 장치 거치대에 장착한 시스템을 나타내었다.

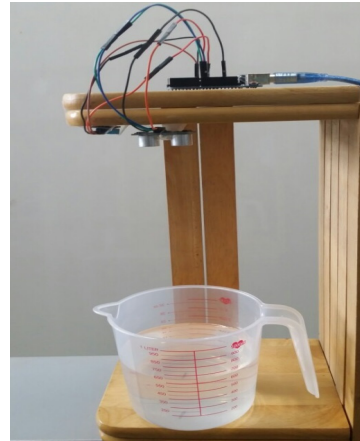


그림 2. 시스템 구성도
 Fig. 2. configuration of the whole system

4. 프로그래밍 및 작동 원리

프로그램은 아두이노 통합 개발 환경(IDE)을 이용하였다. IDE는 C++와 유사한 언어로 된 스케치(Sketch)의 작성 및 디버깅, 그리고 아두이노에 프로그램을 다운로드 하기 위한 도구를 제공한다.

일단 아두이노에 프로그램이 업로드된 다음 프로그램이 실행된다. 수위를 측정할 때 아두이노는 먼저 온도 센서를 이용하여 온도를 측정한다. 그리고 초음파 센서를 사용하여 초음파 송신과 수신 사이의 시간을 측정한다. 온도 값에 따라 소리의 속도를 계산한 다음 에코 리턴 시간 값으로 거리를 계산한다. 속도, 시간과 거리의 관계는 식 (2)와 같이 표시된다.^[10]

$$d = v * t / 2 \quad (2)$$

여기서 d는 거리, v 는 소리의 속도, t는 초음파가 송신에서 수신까지 걸린 시간이다. 수위는 센서와 바닥 사이의 거리에서 d를 감하면 구해진다.

III. 실험 및 결과

구축된 시스템으로 여러 수위에 대해 측정하였다. 먼저 수위를 자를 이용하여 실측치로 맞춘 다음, 그 수위에 대한 초음파 센서의 측정을 50번씩 하였다, 시스템에서 수집된 각 수위별 결과의 일부가 그림 3과 표 1에 나와 있다.

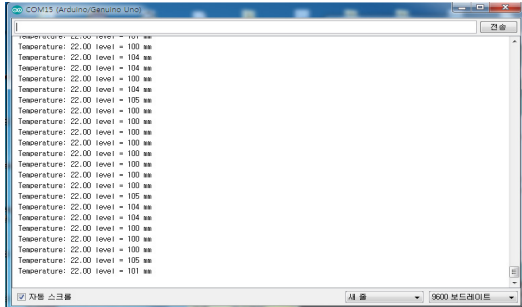


그림 3. 온도 센서와 초음파 센서 측정값의 화면 출력
Fig. 3. display of temperature and ultrasonic measurements (mm)

표 1. 실측값과 초음파 측정값 (mm)
Table 1. ruler measurements and ultrasonic measurements

ruler	ultra sonic	ruler	ultra sonic
40	42	80	79
40	41	80	80
40	41	80	79
40	39	80	79
40	41	80	80
40	40	80	81
40	37	80	81
40	41	80	79
40	40	80	81
40	39	80	79
60	60	100	100
60	61	100	100
60	61	100	101
60	60	100	100
60	61	100	100
60	60	100	100
60	60	100	100
60	60	100	100
60	60	100	100
60	61	100	100

실측치와 초음파 센서가 측정한 값을 그림 4에 회귀직선으로 나타내었다. 실측치(x)와 초음파 시스템으로 측정된 수위(y)사이의 회귀 직선의 기울기는 1.000에

우 가깝다. 결정 계수도 $R^2=0.9959$ 로 초음파 측정값의 정확도와 신뢰도가 확인되었다.

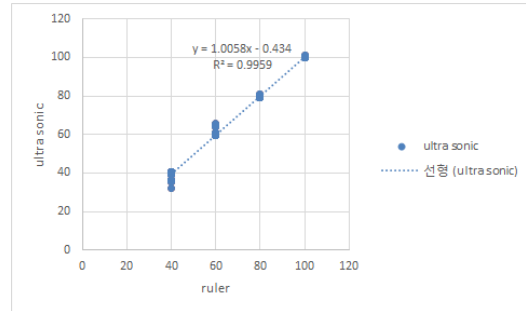


그림 4. 초음파 센서 측정값과 실측값의 관계 (mm)
Fig. 4. relation between ultrasonic measurements and ruler measurements

IV. 결론

실험용 초음파 수위 측정 시스템은 수위를 측정하기 위하여 초음파 센서, 온도 센서 및 아두이노로 구성되었다. 온도 센서는 초음파 측정치의 값을 보정하기 위하여 사용되었다. 실험 결과 시스템이 수위를 상당히 정확하게 측정함을 알 수 있었다. 실측치와 제안한 시스템 측정치의 회귀 직선의 기울기는 1.000에 가깝고 결정 계수도 $R^2=0.9959$ 나 나왔다. 이 시스템은 또한 저렴한 비용으로 간단히 설치할 수 있어 실험용으로 적합하다.

References

- [1] Arduino web site, <https://www.arduino.cc/>
- [2] Wikipedia-Arduino, <https://en.org/wiki/Arduino>
- [3] Massimo Banzi, and Michael Shiloh, "Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform (Make)", 3rd Edition, Maker Media, Inc., pp. 15-24, December, 2014
- [4] HC-SR04User's_Manual, https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit
- [5] Tero Karvinen, Kimmo Karvinen, and Ville Valtokari, "Make: Sensors: A Hands-On Primer for Monitoring the Real World with Arduino and

- Raspberry Pi”, Maker Media, Inc, pp, 31-43, June, 2014
- [6] D. A. Bohn, “Environmental effects on the speed sound.”, Journal of the Audio Engineering Society, 36(4): pp. 223-231, April 1988.
- [7] George S. K. Wong and Tony F. W. Embleton, “Variation of the speed of sound in air with humidity and temperature”, The Journal of the Acoustical Society of America 77, pp10-20, May 1985
- [8] DHT11 Overview, <https://learn.adafruit.com/dht/overview>
- [9] Arduino-IDE, <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- [10] Hyoung-Ro Lee, Chi-Ho Lin, “Design and Implementation of Arduino-based Efficient Home Security Monitoring System, Internet Television and Telecommunication, VOL. 16 NO. 2, pp. 49-54, April 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.2.49>

저자 소개

유 문 성(정회원)



- 1978년 2월 : 서울대학교 수학과(이학사)
- 1996년 12월 : Louisiana State University (공학박사)
- 2000년 9월 ~ 현재 : 상지대학교 컴퓨터공학과 교수

<주관심분야 : 소프트웨어 개발, 사물인터넷, 안드로이드, 아두이노/라즈베리 파이, 소프트웨어 공학 >