

임베디드 시스템을 위한 초음파 신호 처리 기반 유량 측정 방법의 경량화

김성섭, 이승우, 송민환, 권영민, 이상신
한국전자기술연구원

e-mail:sskim@keti.re.kr, seungwoo.lee@keti.re.kr, mhsong@keti.re.kr,
ymkwon@keti.re.kr, sslee@keti.re.kr

Lightweight Flow Measurement Technique using Ultrasonic Signal for Embedded Systems

Seongseop Kim, Seungwoo Lee, Min-Hwan Song, Youngmin Kwon, Sang-Shin Lee
Korea Electronics Technology Institute

요약

본 연구에서는 임베디드 환경에서 경량화된 초음파 신호 기반 유량 측정을 위해 단일 주파수 위상 계산을 결합한 ToF (Time of Flight) 측정 방법을 제안한다. 제안된 알고리즘을 MATLAB을 이용하여 분석하였으며, MCU 동작 cycle 값을 MATLAB-MCU 실험 환경을 통해 분석하였다. 그 결과 제안한 알고리즘이 임베디드 환경에서 적은 계산량으로도 정확한 ToF 계산이 가능함을 확인하였다.

1. 서론

초음파 신호 기반의 유량 측정 기법의 경우 일반적으로 초음파 신호의 송신/수신 사이에 발생하는 시간 차이(ToF) 값을 이용하여 유량을 측정한다. 두 신호의 시간 차이는 교차 신호 상관 관계(Cross-correlation)를 사용하여 구할 수 있으나, 이 방식의 경우 그 연산 과정이 샘플 신호의 시간 영역 전체에 대하여 이루어지므로 연산량이 많아 저성능 임베디드 시스템에는 적합하지 않다. 따라서, 본 논문에서는 저성능 임베디드 시스템에서 충분히 적용 가능한 경량화된 초음파 신호를 이용한 유량 측정 방법을 구현하고자 한다. 이를 위해 제안하는 저성능 MCU에 적용 가능한 신호 처리 알고리즘을 MATLAB에서 구현하여 그 동작을 확인하였고, ARM 기반의 MCU를 사용하여 실제 임베디드 환경에서 사용되는 연산량을 MATLAB-MCU 연동 구조를 사용하여 분석하였다. 그 결과 제안하는 신호 처리 알고리즘이 저성능 MCU에서 충분히 사용 가능함을 확인하였다.

2. 본론

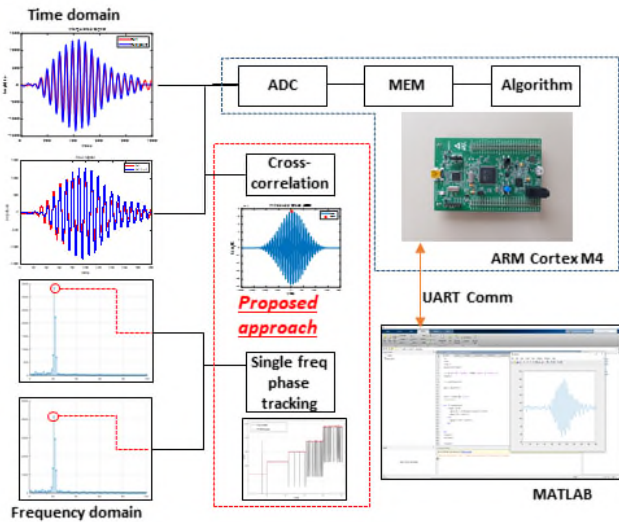
교차 신호 상관 관계를 이용한 유량 측정 방식들은 꾸준히 연구되었으며[1, 2], 발생하는 에러를 처리한 연구들도 진행되어

왔다[3]. 교차 신호 상관 관계는 센서로부터 얻어진 데이터 집합에 대하여 전 구간 곱하고 더하는 반복 연산이 존재하여 일반적으로 많은 연산량을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 교차 신호 상관 관계 계산에서 발생하는 연산량을 줄이고자 교차 신호 상관 관계와 단일 주파수 위상 측정 방법을 혼용하는 초음파 전달 시간 차이 연산 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 그림 1.(b)와 같으며 그 동작은 다음과 같다. 단일 주파수 위상 분석을 통한 ToF 연산은 교차 신호 상관 관계에 비해 적은 연산량을 가지는 점을 이용하여, 이전 시간에서 교차 신호 상관 관계를 이용하여 계산된 ToF를 이용하여 단일 주파수 위상 분석을 통한 ToF의 값을 보정하여 전체 ToF를 계산하도록 하여 연산량을 줄이고자 하였다.

3. 구현

제안하는 신호 처리 알고리즘의 동작을 확인하기 위하여 MATLAB을 이용하여 알고리즘의 동작을 확인하였으며, 실제 임베디드 환경에서의 동작을 확인하기 위하여 ARM Cortex M4 기반의 임베디드 환경에서 그 동작을 확인하고자 하였다.

제안하는 신호 처리 알고리즘으로 연산한 ToF 값은 그림 1.(c)와 같이 기존의 방식과 대비하여 동일함을 확인하였다. 이로부터 제안하는 알고리즘의 정확한 동작을 확인할 수 있



[그림 1] 제안하는 구조 및 실험 환경

Algorithm 2 Proposed ToF calculation method

```

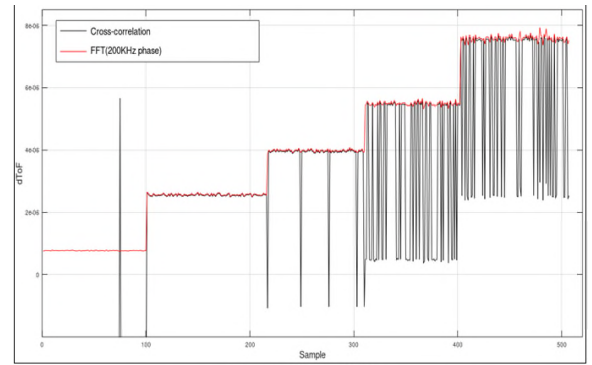
for Main frequency  $f$ , number of data  $N$ , sampling rate of  $f_s$  do
  for  $i = 1$  to Max do
    if mod( $i,k$ ) then
       $ToF_{cross} = Cross - correlation(Rx1, Rx2)$ 
       $ToF = ToF_{cross}$ 
    else
       $F_1 = DFT(Rx1)$  for  $f$ , index  $idx$ 
       $F_2 = DFT(Rx2)$  for  $f$ , index  $idx$ 
       $p_1 = angular(F_1)$ 
       $p_2 = angular(F_2)$ 
       $ToF_{phase} = (p_1 - p_2) / (-idx \times f_s / N \times 2 \times PI)$ 
      if  $((ToF_{cross} - ToF_{phase}) > 1/f)$  then
         $ToF = ToF_{phase} + 1/f$ 
      else if  $((ToF_{cross} - ToF_{phase}) < -1/f)$  then
         $ToF = ToF_{phase} - 1/f$ 
      else
         $ToF = ToF_{phase}$ 
      end if
    end if
  end for
end for
    
```

[그림 2] 제안하는 신호 처리 알고리즘

었다. 또한, 실제 임베디드 환경에서 저연산량으로도 동작 가능함을 확인하기 위하여 그림 1.(a)와 같은 MATLAB-MCU 연동 구조를 사용하여 실제 알고리즘 수행에 필요한 사이클 값을 분석하였다. 그 결과 주파수 위상 비교 연산이 교차 신호 상관 관계 연산 대비 10%의 연산량을 가지는 것을 확인하였으며 이 두 연산을 시간 간격과 사용자 패턴 등 여러 조건에 따라 적절히 조합한다면 전체 ToF 계산에서의 연산량을 줄일 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

저연산량을 가지는 초음파 신호 기반의 ToF 측정을 위해 본 논문에서는 기존의 교차 신호 상관 관계 방식과 단일 주파



(a) ToF 측정 결과

dToF method	Execution cycles
Cross-correlation based dToF	1100297
Single frequency based dToF	114832

(b) 측정 cycle 값

[그림 3] 실험 결과

수 분석 방법을 결합한 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘을 MATLAB을 이용하여 그 동작을 확인하였고, 실제 MCU를 사용하여 알고리즘 동작에 사용되는 실행 사이클 값을 분석하였다. 그 결과 제안하는 구조가 저성능 임베디드 환경에서도 충분히 사용 가능함을 확인하였다. 추후 연구로는 서버 측에서 사용자의 사용 패턴을 분석을 기반한 유량 측정 연구를 진행하여 서버-클라이언트 결합 유량 측정 방법으로 나아갈 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 한국가스공사의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

참고문헌

- [1] Y. Lin and V. Hans, "Self-Monitoring Ultrasonic Gas Flow Meter Based on Vortex and Correlation Method," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 56, no. 6, pp. 2420-2424, Dec. 2007
- [2] S. Sun, S. Li, L. Lin, Y. Yuan and M. Li, "A Novel Signal Processing Method Based on Cross-correlation and Interpolation for ToF Measurement," 2019 IEEE 4th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), pp. 664-668, 2019
- [3] B. Si-zhong, Z. Jia-yi, W. Xuan and L. Tao, "A method to solve the periodic deviation in cross-correlation measurement of ultrasonic echo signals," 2017 2nd International Conference on Frontiers of Sensors Technologies (ICFST), pp. 358-362, 2017