SAW용 고속 타이머 구현에 대한 연구

김옥수* · 김영길**

A Study on the Implementation of the High Speed Timer for SAW Device

Ok-Soo Kim* · Young-kil Kim**

요 약

현재 SAW 센서는 많은 발전을 해왔고 온도나 압력용 SAW 센서를 저전력, 고속 신호 처리로 하기 위해서는 TDS(Time Domain Sampling) 방식을 이용한 리더기 플랫폼이 필요하다. 이러한 리더기를 제작하기 위해서는 SAW 센서의 표준 응답신호와의 변화된 응답시간과의 짧은 시간차를 측정하기 위해 고속의 타이머가 필요하게 된다. 여기서 제안하는 플랫폼은 SAW 센서에 신호를 받아서 비교기로 아날로그 신호를 디지털 신호로 전환하여 그 전환된 신호를 타이머 모듈에서 읽어 들여 산호들의 시간차를 측정하여 표시하여 나노초(Nano Second) 단위의 시간을 측정하는 방법을 제안 하고자 한다.

ABSTRACT

SAW Sensor is greatly developed today and Reader Platform which uses SAW Sensor for temperature or pressure is required to use TDS method for low power and high speed processing. For to use this Platform, high speed timer is required to measure a short interval between reference signal and reflectior's signal. This paper proposes that platform receive SAW Sensor's signals and transform digital signal through comparator. Next the transformed signal is measured by Timer Platform and the measured interval is displayed with time. This paper proposes method of measurment of time with nano sec unit.

키워드

SAW Sensor, High Speed Timer, interval, TDS

* 아주대 전자공학과 박사과정
** 아주대 전자공학과 교수

접수일자 2008. 12. 17
심사완료일자 2009. 02. 25

Ⅰ. 서 론

사회전반에 걸쳐 편의성이 강조되고 있는 시점에 유비쿼터스 컴퓨팅 환경은 우리 사회에서 2003년을 기점으로 활발히 연구 이며 Hardware 플랫폼은 RFID(Radio Frequency Identification)가 주가 되고 있다. 그래서 본 논문에서는 현재 점차 새로이 부각되고 있는 SAW 센서를 활용하기 위해서 저전력, 고속 정보처리가 가능한 TDS(Time Domain Sampling)방식으로 처리 할 경우 매우 빠른 Sampling 속도를 요구하는 타이머가 필요하게 된다. SAW 센서로부터 나오는 나노초 단위의 시간 변화를 측정하기 위해서는 고속으로 샘플링하는 타이머의 역할만을 하는 프로세서가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 요구를 만족시키고자 SAW 센서 리더기 플랫폼에 사용할 수 있는 타이머에 대한 방법을 연구하고자 한다.

Ⅱ. SAW 센서 및 측정 기술

2.1 SAW 센서

SAW(Surface Acoustic Wave)는 탄성체 기판(substrate)의 표면을 따라 전파되는 탄성파이다. 이러한 종류의 wave는 주로 SAW 센서에서 사용된다. 압전 물질(piezoelectric material)을 이용하여 전기에너지(electric energy)는 기계적 에너지(mechanical energy)로 변환되는데 SAW 장치는 이러한 에너지의 변환을 기반으로 한 것으로 ID(Identifier), 센서 등으로 이용된다. 압전 효과(piezoelectric effect)를 이용하여 전기적 신호를 음향파로, 음향파를 전기적 신호로 바꿔주는 IDT(Interdigital transducer)를 한 개 이상 사용 한다.

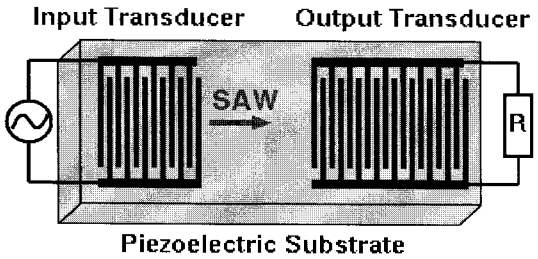

그림 1. 일반적인 SAW Device
Fig1. Typical SAW device design

SAW 센서 분야는 지난 20년 전부터 연구가 되어 왔으며 SAW의 응용 분야에서 매우 활용성이 높은 분야이다. SAW 센서는 화학, 광학, 온도, 압력, 가속, 토크 센서 등 센서의 많은 분야에 활용된다. SAW ID를 이용하여 ID를 가진 센싱 정보를 갖는 RFID도 구현이 가능하다. 하지만 SAW 센서의 경우 아직은 상업적으로 사용하기 제한이 많기 때문에 SAW를 이용한 터치스크린 이외에는 상용화된 것들은 거의 없다.

2.2 IDT(Interdigital Transducer)

IDT는 압전 기판에 서로 맞물리게 배열된 금속 전극으로 SAW 센서의 핵심이며, 전기회로와 표면탄성파 사이의 인터페이스 역할을 한다. 즉 무선 신호 을 탄성파로 변환하고, 반사된 탄성파를 다시 무선 신호로 변환 하여 준다.

2.3 SAW 센서 리더기 기술

TDS 방식에서는 시간의 분해능이 SAW 센서의 대역폭을 충분히 커버 할 수 있어야 한다.

응답신호인 $r(t)$는 요청 신호에 사용한 stable oscillator를 기준으로 하여 위상 동기 복조를 하게 된다. 베이스 밴드 신호를 샘플링 하기 위해서는 최소한 센서의 대역폭 보다 2배 이상의 속도로 샘플링 하여야 한다.

TDS 방식은 적은 에너지로 빠르게 센서의 정보를 읽어 올 수 있는 장점을 갖고 있지만 송신부에서는 빠른 속도의 RF switch를 필요로 하고 수신부에서는 빠른 속도로 데이터를 받아갈 수 있는 장치가 필요 하다.

FDS 시스템은 전체 대역 B에서 주파수를 여러 단계로 나누어 측정 하는 방식이다. 센서의 응답을 M개의 주파수를 이용하여 측정한다. 시스템에서 시간 축에서 M-point의 정보를 얻기 위해서는 M개의 주파수에서의 응답을 측정해야 하기 때문에 센서의 응답을 측정하기 위해서는 TDS에서 측정할 때 걸리는 시간보다 최소한 M배 이상의 시간을 필요로 하게 된다. FDS에서 각각의 주파수에서 샘플링 된 값을 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)을 이용하여 Sensor의 값을 구할 수 있다. 이 방식은 TDS보다 느린 샘플링 속도와 RF switch 속도를 사용 하지만 보다 많은 에너지를 소비하게 되고 측정 시간이 길어지게 된다.

2.4. RF 설계 이론 소개

Direct conversion 방식에서 IF를 사용한다는 얘기는 주파수변환을 여러 차례 추가적으로 해야 한다는 의미가 된다. 그렇기 때문에 직접적으로 가장 큰 과제는 비용문제이다. 믹서가 붙을 때마다 필터가 붙어야 하고, IF단만이 사용하는 각종 필터와 증폭기, 주변회로들로 인해 통신시스템의 단가를 올려놓는다. 그럼에도 불구하고 성능이 좋고 구현이 쉬워서 결국 사용하게 하기도 한다. DCR(Direct conversion receiver)는 IF가 생략되기 때문에 수신기 구조가 간단진다. 그리고 본 논문에서 RF단은 저주파 대역으로 낮추어야할 필요 없이 바로 고주파의 신호를 받아들여 신호처리를 하여야 하므로 Direct conversion방식을 이용하였다.

Ⅲ. 제안한 SAW용 고속 타이머

3.1 시스템 개요

SAW용 타이머는 크게 무선 모듈과 타이머 모듈로 나눌 수 있다.

무선 모듈에서 충격파(impulse)를 주기적으로 송신하고, 이 충격파에 반응하여 다시 무선 모듈에 수신되고, 이 수신된 신호는 전압 비교기를 거치면서 Noise제거 및 디지털화되어 시간 측정에 중점을 둔 타이머 모듈에 들어가서 마이크로초(Micro Second) 단위로 들어오는 신호들을 1 ~ 수 나노초 단위로 샘플링하게 된다. 이렇게 측정된 데이터들을 PC나 LCD 등의 디스플레이 장치에 의해서 나타 낼 수 있게 된다. 나노초 단위로 타이머 모듈에서 FPGA를 이용하여 샘플링 할 경우 충분히 SAW 센서의 신호를 측정 가능하다.

그림 2. 시스템 블록도
Fig.2 System Block Diagram

3.2 적용할 SAW 센서

본 논문에서 사용할 SAW 센서는 온도센서로서 온도에 따라서 기판이 휘어짐에 따라서 반사판(Reflector) 사이의 거리가 변화되는 원리로 온도의 정도를 측정한다.

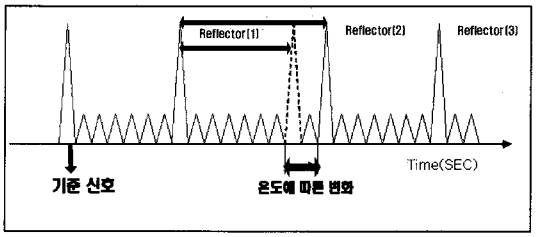

그림 3. SAW용 온도센서의 신호의 변화
fig.3 changed signal of temperature sensor

그래서 온도에 따라서 기준신호와 반사판 사이 간격이 변하게 되고 변화된 간격은 무선 모듈로 부터의 원래의 신호가 도착하는데 변화가가 생기고 또한 반사된 신호를 보내는 데도 변화가 생긴다.

3.2 무선 모듈의 구현

송신과 수신의 기능할 수 있게 SW1을 집어 넣어서 송,수신이 하나의 회로에서 가능하게 하였다. 그리고 송신 블록에는 PLL(Phase Locked Loop)기능을 넣고 440Mhz대역신호와 33KHz의 신호를 복조한다.

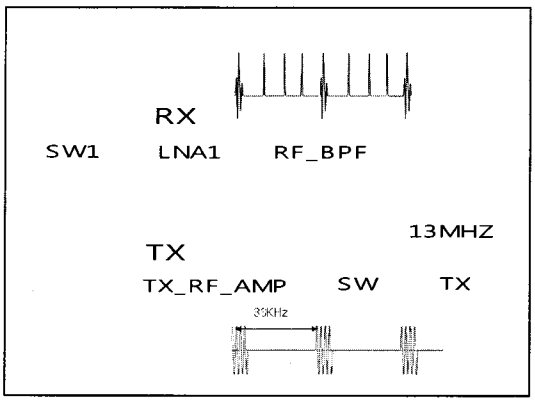

그림 4. 무선 모듈의 블록도 및 구동요약
Fig.4 approximate of RF stage

3.3 High Speed Comparator의 구현

그림5는 전압 비교기를 통하여 SAW 센서에서 나온 신호를 비교기를 거치면서 변하는 신호의 형태를 블록도를 통해서 나타내는 그림이다. 노이즈와 섞여서 들어오는 신호를 전압비교기에 임계전압을 주어서 임계전압 밑의 전압들은 노이즈로 보고 제거되고 임계전압 이상의 값들은 신호로 인정하게 되고 타이머 모듈에서 유

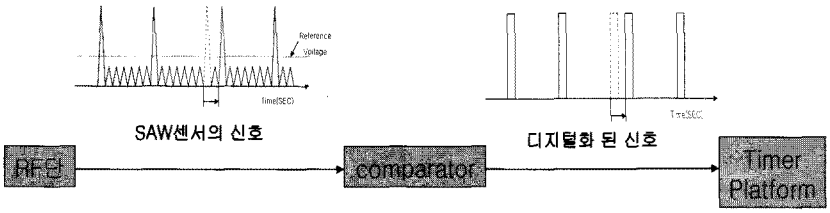

그림 5. 비교기를 통한 신호 변화
Fig.5 Transition through Comparator

효값으로 인식하는 전압레벨(3.3V이상)로 매칭시켜 디지털화 된다. 또한 이 단에서 고주파의 신호를 다루어야 하므로 고속 Comparator를 사용하여야 한다.

3.4 Timer Platform

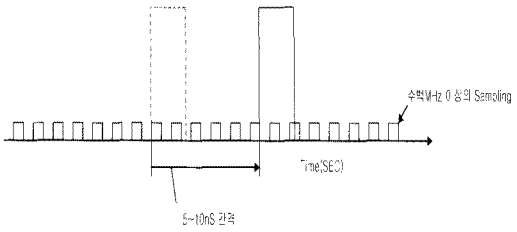

그림6. Timer Platform의 Sampling
Fig.6 Samping in Timer Platform

타이머 모듈의 FPGA의 클럭을 이용하여 측정하고자 하는 변화된 신호의 간격을 측정하는 것을 보여주고 있다. 지금은 사용하는 FPGA는 264MHz의 클럭을 사용하지만 지금 시판되는 Altera사의 Cyclone Ⅲ를 사용한다면 1GHz의 클록을 사용할 수 있으므로 1나노초의 간격으로 샘플링 할 수 있게 된다.

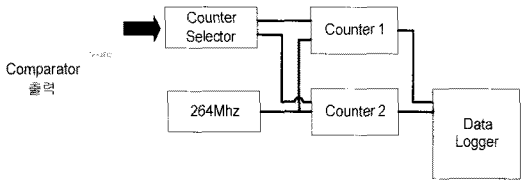

그림 7. TimerPlatform의전체블록도
Fig.7 Block Diagram of TimerPlatform

타이머 모듈에 있는 33MHz 오실레이터와 12MHz 오실레이터를 이용하여 각각 33MHz오실레이터는 FPGA의 PLL을 이용하여 8배를 체배하여 264MHz클록을 생성하여 디지털화된 SAW 센서의 신호를 샘플링 하는데 이용하고 , 12MHz오실레이터는 들어온 데이터를 시리얼 통신으로 전송하는데 사용한다. 실시간으로 측정하기 위하여 기준 신호와 1번째 반사판 사이의 간격인 첫 번째 간격을 측정할 때는 1번 카운터를 사용하고 1번째 반사판 신호와 2번째 반사판 사이의 간격인 2번째의 간격을 측정할 때는 2번 카운터를 사용하고 2번째 반사판과 3번째 반사판 사이의 간격인 3번째 신호를 측정할 때에는 다시 1번 카운터가 측정을 하기 위해서 카운터 선택 블록을 만들어서 카운터를 선택하도록 하였다.

각 두 개의 카운터의 측정된 데이터를 data_logger블록에 저장한다.

V. 실 험

4.1 실험 환경

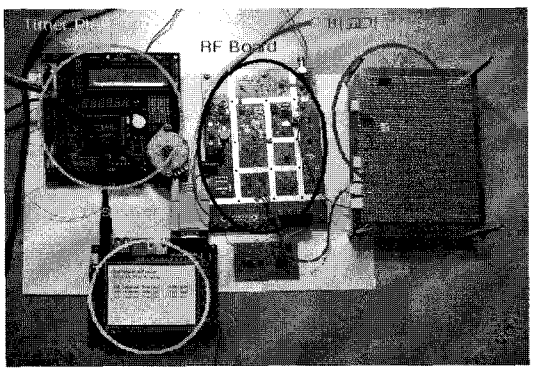

그림 8. 구현 보드들
Fig. 8 Implement Boards

본 실험에서는 타이머 모듈, 무선 모듈, Comparator, 표시 장치들로 구성 되었다.

4.2 실 험 및 결과 분석

4.2.1 시뮬레이션

우선 시뮬레이션을 통해 실제로 제작 할 타이머 모듈이 정확한 측정을 할 수 있을지 예측해 보고자 한다.

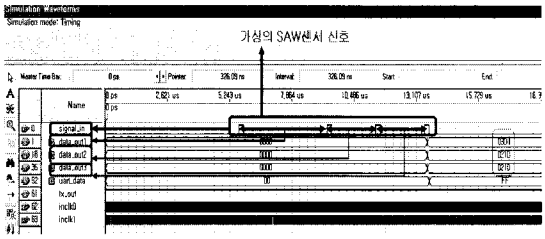

그림 9. Node 설명
Fig.9 Explaintion about Nod

Signal_in은 Comparator를 통해서 디지털화된 SAW 센서의 신호로 가정하여 SAW 센서와 비슷한 신호를 입력한다. 그리고 data_out1, data_out2, data_out3는 기준신호와 1번째 반사판 사이의 간격, 1번째 반사판과 2번째 반사판 사이의 간격, 2번째 반사판과 3번째 반사판 사이의 간격을 데이터로 나타낸다.

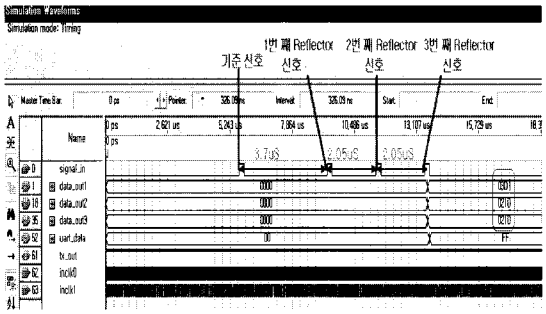

그림 10. 가상의 신호 Simulation 결과
Fig.10 Result of Virtual Signal

데이터의 값들은 16진수들로 $\frac{\text{시간}(ns)}{3.78(\fallingdotseq 264MHz\text{의 주기})}$ 의 값을 16진수로 바꾼 값들로 계산 하여 비교 할 수 있다.

- 3700/3.78≒978=h03D2, Simulation 값:h03d1
- 2050/3.78≒542=h021E, Simulation 값:h021D
- 2050/3.78≒542=h021E, Simulation 값:h021D

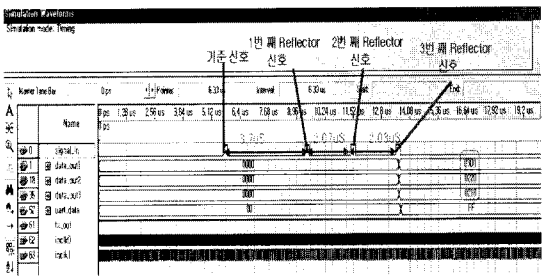

그림 11. 2번째 신호를 20ns 이동
Fig.11 Movement of 2nd Signal in 20ns

2번째 반사판의 신호가 20ns 이동하여 시뮬레이션한 그림이다. 3.7us의 값은 먼저 진행한 시뮬레이션의 값과 같이 나왔다. 그리고 2.07us와 2.03us의 계산식은 0x0223, 0x0219이고 Simulation의 값은 0x0220, 0x0218이 나왔다. 각각의 오차는 3, 1이 나왔다. 이 결과들 또한 거의 오차가 없이 일치하고 있다.

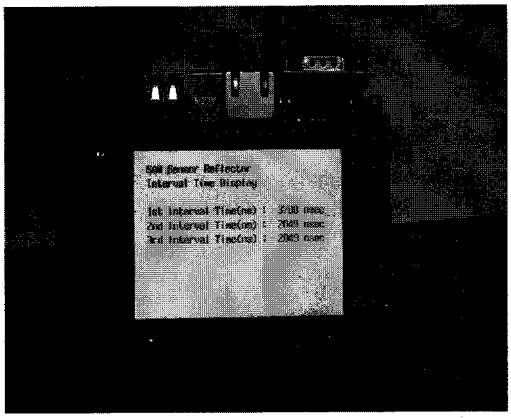

그림 12. UART 수신 데이터의 LCD 표시
Fig.12 Displayer Through UART

3.7uS는 측정한 16진수 데이터 값 0x03D1은 십진수 977로 되어 $977 \times \frac{1}{264MHz} \times 1000 \fallingdotseq 3700nS$ 라는 값을 나타낸다.

그리고 2.05uS를 측정한 16진수 데이터 값 0x021D은 십진수 541 $541 \times \frac{1}{264MHz} \times 1000 \fallingdotseq 2049nS$라는 값을 나타내고 있다.

4.2.2 측 정

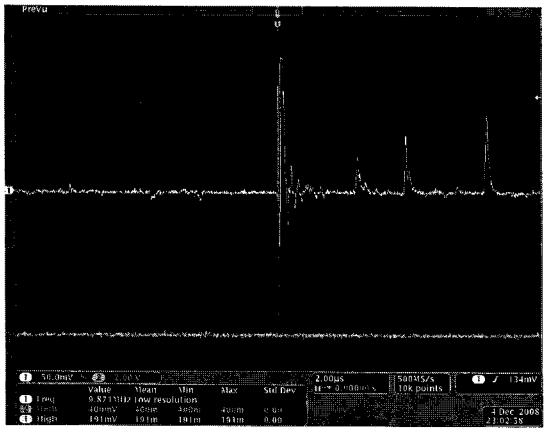

그림 13. 3개의 Reflector가진 SAW Senor의 측정된 신호
Fig.13 Measured Signal of SAW Sensor including Three Refletors

그림13 신호는 무선 모듈에서 나오는 440MHz의 신호 응답한 3개의 반사판을 가진 SAW 센서의 신호를 보여 주고 있다.

그림.14 고속 Comparator를 통한 신호의 변화
Fig.14 Transformation of Signal through a High Speed Comparator

그림14은 무선 모듈에서 33KHz단위로 보내오는 신호를 112mV-peak의 신호를 3.6V-peak로 바뀌면서 LVTTL(Low Voltage Transistor-Transistor Logic)회로를 지원하는 Cyclon I에 high값인 3.3V이상으로 만들어 주고 있다.

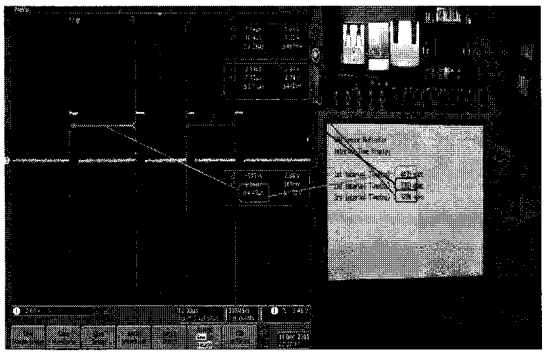

그림 15. Function Generator를 통한 Rising Edge 사이의 시간 측정
Fig.15 Measurment of Time between Rising Edge through Function Generator

그림15은 신호 발생기(Function Generator)로 고속 Comparator를 통하여 디지털화 된 SAW 센서 신호와 유사한 신호를 만들어서 시간의 간격을 측정하여 보여준다. 신호 발생기를 오실로스코프로 측정된 시간의 간격은 4.43us, 3.30us, 3.28us 과 타이머 모듈로 측정된 시간의 간격은 4.439us, 3.303us, 3.281us가 나와서 거의 일치한다는 것을 볼 수 있다.

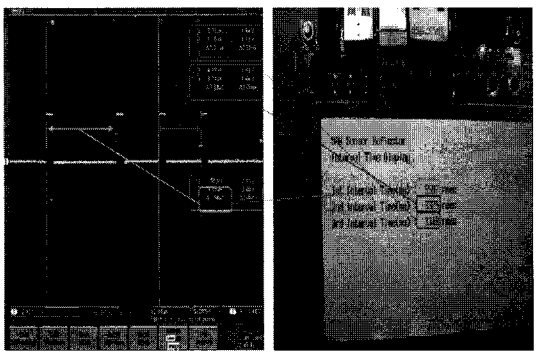

그림 16. 왼쪽 2번째 신호 약1us delay
Fig.16 2nd signal at left delayed about 1us

그림.16은 왼쪽에서 2번째의 신호를 약 1us지연 시킨 신호이다. 지연된 상태에서 상승 dpt지에서의 간격은 오실로스코프로는 각각 5.50um, 3.33um, 3.31um 값이 나왔고 Timer Platform으로는 5.507us, 3.329us, 3.318us로 거의 일치하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 TDS방식을 이용하여 SAW 센서로부터 나온 신호를 고속 비교기와 타이머 모듈을 이용하여 측정하는 방법을 제안해 보았고 가능성을 실험을 통해서 확인해 보았다. 실험에서 Timer Platform으로 Altera사의 Cyclon I 을 사용하여 한계 내부 클럭이 405MHz였지만 지금 나와있는 CyclonⅢ를 사용한다면 한계 내부 클럭으로 1GHz를 사용하게 되므로 나노초 단위로 샘플링이 가능하게 되어 SAW 센서의 신호를 TDS(Time Domain Sampling)방식으로 충분히 가능하게 된다. 물론 DSP를 이용하여서도 고속으로 신호를 처리 할 수 있지만 본 논문에서는 FPGA를 사용하여 측정하여 보았다. 기술의 발전에 의해서 점점 더 빠르게 측정 할 수 있는 프로세서가 나올 것이고 SAW 센서의 상용화에 한 발 더 다가갈 것이다. 무선 모듈 분야에서도 리더기 간의 상호 간섭을 방지하기 위한 충돌방지(anti-collision) 알고리즘에 대한 연구도 이루어지고 있다. SAW센서가 상용화 된다면 기존에 사용되는 센서들을 대신하게 될 것이고, 자체 전원 공급이 아닌 무선으로 전원을 공급하는 방식이므로 반영구적이라고 할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 TDS(Time Domain Sampling)의 방식에서의 난점이 빠른 신호처리를 기술의 발전에 의해서 가능하게 되었고 방법을 제안해 보았다. 향후 과제로는 실제 SAW 센서의 신호를 측정해 보고 고성능의 FPGA를 이용하여 직접 측정해보고 이로 인해 생기는 문제점들을 파악해 보아야 할 것이다.

참고문헌

[1] 권오병 외 1명, "유비쿼터스 시스템의 이해", 신론사, 2004

[2] 유호준, "ARM11 기반의 SAW Sensor 리더 플랫폼에 관한 연구", 아주대 석사논문, 2008. 2

[3] http://www.rfdh.com

[4] http://www.huins.com

[5] http://www.analog.com/
http://www.altera.com/

[6] A. Pohl, "A review of wireless SAW sensors", IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 47, no. 2, pp. 317～332, Mar. 2000.

[7] C. S. Hartmann, "A global SAW ID tag with large data capacity", in Proc. IEEE Ultrason. Symp., vol. 1, Oct. 2002, pp. 65～69.

[8] C. Hartmann, "Anti-Collision Methods for Global SAW RFID Tag Systems", 2004 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 805-808

[9] Leonhard Rein이, "Theory and Application of Passive SAW Radio Transpondrs as Sensors", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 45, no. 5 ,September 1998

저자소개

김옥수(Ok-Soo Kim)

숭실대 전자공학과 학사
숭실대 전자공학과 석사
현대중공업 기계전기연구소 - 선임연구원
마린디지텍 부설연구소 - 수석연구원
아주대 전자공학과 박사과정
※관심분야 : 디지털 선박 통합 네트워크, 선박 임베디드 시스템, 디지털 선박 통합화 플랫폼

김영길(Young-kil Kim)

고려대 전자공학과 학사
한국과학기술원 석사
ENST(프랑스) 박사
아주대 전자공학과 교수(현재)

※관심분야 : RFID Platform , Embedded system, 초음파 의료기기, Mobile 의료정보 시스템